

## CAPITOLO III

### COMPONENTI DELL'IMPIANTO ELETTRICO APPARECCHI DI MANOVRA

#### 1. Classificazione

Sono chiamati apparecchi di manovra i componenti dell'impianto capaci di effettuare almeno una delle seguenti operazioni:

- interrompere la corrente in un circuito elettrico (manovra di apertura);
- stabilire la corrente in un circuito elettrico (manovra di chiusura).

Le manovre di apertura e chiusura di un circuito possono effettuarsi:

- in condizioni del circuito elettrico "sano", quando in esso circola la corrente di funzionamento normale o una corrente di sovraccarico,
- in condizioni circuito elettrico "guasto", quando in esso circola la corrente di cortocircuito.

Gli apparecchi di manovra possono fondamentalmente dividersi in:

- interruttori, quando sono costruiti per aprire o chiudere un circuito percorso da correnti di intensità non trascurabile, anche quella di cortocircuito;
- sezionatori, quando sono costruiti per aprire o chiudere, in modo visibile o mediante un dispositivo indicatore affidabile, un circuito percorso da correnti di intensità trascurabile<sup>1</sup>.

Fra queste due principali categorie di apparecchi di manovra ve ne sono altre intermedie:

- gli interruttori di manovra, che sono costruiti per aprire un circuito sano o per chiudere un circuito sano o guasto;
- gli interruttori di manovra-sezionatori (IMS), che sono interruttori di manovra per i quali deve essere possibile verificare la posizione di aperto in modo visibile o mediante un dispositivo indicatore affidabile;
- i contattori, che sono costruiti per aprire o chiudere un circuito sano.

I circuiti elettrici a media e a bassa tensione possono essere aperti anche per mezzo di fusibili, componenti che intervengono automaticamente quando la corrente supera un determinato valore per un tempo prefissato. I fusibili, pur non costituendo in senso stretto apparecchi di manovra, sono considerati tra questi in quanto svolgono alcune delle funzioni proprie degli interruttori, cioè interrompono correnti di sovraccarico e di cortocircuito.

---

<sup>1</sup> È bene precisare che correnti di intensità trascurabile possono ritenersi le correnti capacitive di sbarra, quelle di tratti molto brevi di cavo e di riduttori di tensione, ecc..

La tabella III.1 riassume quanto esposto fino ad ora.

Tab. III.1

	Interrompere		Stabilire	
	Circuito sano	Circuito guasto	Circuito sano	Circuito guasto
Interruttore	Si	Si	Si	Si
Sezionatore	Si <sup>(*)</sup>	No	Si <sup>(*)</sup>	No
Interruttore di manovra	Si	No	Si	Si
Interruttore di manovra-sezionatore	Si	No	Si	Si
Contattore	Si	No	Si	No
Fusibile	Si <sup>(**)</sup>	Si	No	No

(\*) se con corrente di valore trascurabile    (\*\*) se con corrente di sovraccarico

Si nota che l'interruttore è l'unico apparecchio di manovra capace di aprire e chiudere un circuito elettrico in condizioni normali e anormali.

Dall'esame della tabella si nota anche che ciascun apparecchio di manovra è caratterizzato da funzioni differenti. Possono, quindi, nascere delle combinazioni di due apparecchi che, congiuntamente, sono in grado di svolgere la somma delle funzioni che ciascun apparecchio è in grado di svolgere da solo. Ad esempio, associando al fusibile un interruttore di manovra è possibile nel circuito svolgere le stesse funzioni di un interruttore: questo apparecchio viene denominato interruttore di manovra con fusibile.

L'apertura e la chiusura di un circuito creano delle sollecitazioni che vanno attentamente prese in esame. Prima della descrizione dei vari apparecchi di manovra prima classificati, si passa, pertanto, ad analizzare le problematiche relative all'apertura ed alla chiusura di un circuito.

## 2. Apertura di un circuito percorso da corrente

In un interruttore sono presenti due contatti (fig.III.1 a), che vengono allontanati quando si vuole aprire il circuito in cui l'interruttore è inserito. Il distacco dei contatti non è in generale seguito immediatamente dall'interruzione della corrente, che, invece, continua a fluire per qualche tempo, a causa di un arco elettrico che si adessa tra essi (fig.III.1 b).

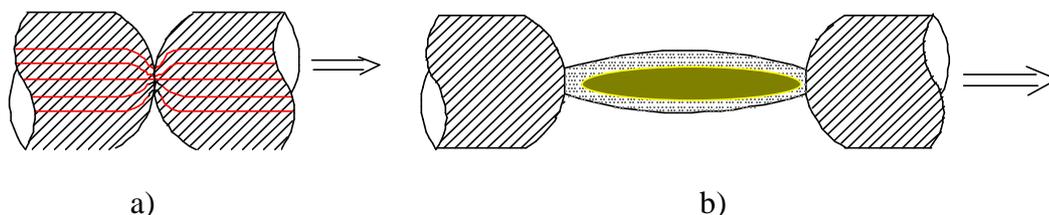


Fig. III.1 - Rappresentazione schematica dei contatti di un interruttore: a) in posizione di chiusura; b) durante la fase di apertura.

L'obiettivo degli interruttori è, ovviamente, quello di estinguere in maniera definitiva l'arco, in modo da ridurre a zero definitivamente la corrente che circola tra i contatti: questo processo si definisce processo di interruzione.

Il processo di interruzione si attua, come si vedrà nel seguito, con modalità differenti nel caso di corrente continua e di corrente alternata; infatti:

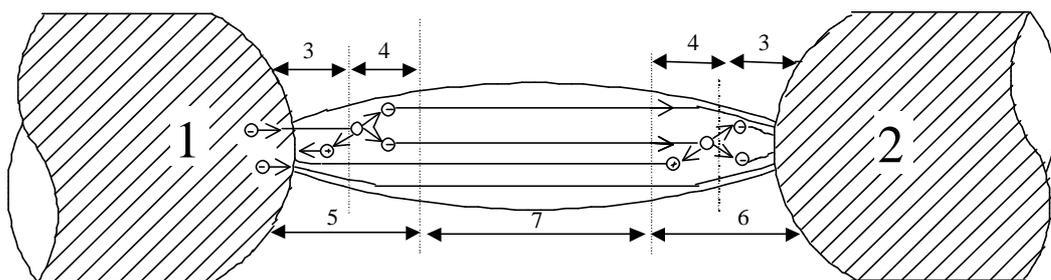
- nel caso della corrente alternata si ha che il passaggio periodico per lo zero della corrente determina un spegnimento "naturale" dell'arco, che si può favorevolmente sfruttare; in questo caso il principale problema da risolvere nel processo di interruzione è quello di evitare che, una volta spento in maniera naturale, l'arco si riadeschi;
- nel caso della corrente continua, non vi è alcun passaggio naturale per zero della corrente da poter favorevolmente sfruttare: in questo caso l'interruzione dell'arco si realizza forzando "innaturalmente" la corrente ad annullarsi, essenzialmente aumentando la lunghezza dell'arco.

### ***2.1 Arco elettrico***

Non appena i contatti cominciano a separarsi, diminuisce la pressione di chiusura che si esercita su di essi e la corrente passa attraverso superfici di dimensioni sempre più piccole (praticamente le asperità superficiali, la cui estensione si modifica con la pressione di chiusura), con la conseguenza che la resistenza elettrica offerta dai contatti al passaggio della corrente aumenta gradualmente. Il calore sviluppato per effetto Joule aumenta a sua volta fino al punto da rendere i contatti incandescenti; vengono così a crearsi le condizioni fisiche necessarie affinché, non appena i contatti si separano, si adeschi tra essi un arco elettrico. Nei primi istanti questo arco è composto prevalentemente da vapori metallici che provengono dai contatti, ma, in seguito, principalmente per effetto termico o per collisione, esso si arricchisce di particelle ionizzate del mezzo interposto tra gli stessi. Il successivo sviluppo dell'arco, che si ha man mano che i contatti si allontanano, è un fenomeno molto complesso, ancora non completamente chiarito in tutti i suoi aspetti; esso dipende da numerosi fattori, quali la natura del mezzo in cui l'arco si sviluppa, il materiale e la velocità di allontanamento dei contatti, le caratteristiche del circuito in cui l'apparecchio è inserito, e così via. Vi è, poi, da tenere in conto che l'arco persiste solo se il circuito in cui è inserito fornisce l'energia sufficiente a compensare quella dissipata nell'arco stesso.

L'arco nella sua lunghezza può essere suddiviso in tre zone principali, come evidenziato nella fig.III.2, e cioè:

- la zona catodica;
- la colonna positiva (o plasma);
- la zona anodica.



1: catodo; 2: anodo; 3: settore della carica spaziale; 4: settore di transizione;  
5: zona catodica; 6: zona anodica; 7: colonna positiva.

Fig. III.2 - Struttura fisica dell'arco elettrico

L'estensione delle zone catodica e anodica è ridottissima; la colonna positiva, invece, comprende quasi tutta la lunghezza dell'arco. La zona catodica è quella a diretto contatto con l'elettrodo a potenziale negativo (catodo), mentre quella anodica è a diretto contatto con l'elettrodo a potenziale positivo (anodo).

Più in particolare, poi, le zone catodica e anodica si possono dividere in altre due zone: una di transizione (raccordo) con la colonna positiva e una seconda, detta "settore della carica spaziale", più a diretto contatto con gli elettrodi: chiaramente la carica spaziale prospiciente l'anodo è prevalentemente costituita da elettroni, quella prospiciente il catodo da ioni positivi.

Per quanto riguarda la colonna positiva essa è macroscopicamente neutra.

Dal punto di vista elettrico, un arco si può caratterizzare con una curva caratteristica, detta caratteristica volt-amperometrica, nel seguito chiamata sinteticamente caratteristica dell'arco. Tale curva riporta i valori della tensione necessari a sostenere l'arco al variare della corrente che lo percorre.

La caratteristica in regime statico, detta caratteristica statica, riporta i valori della tensione necessari per mantenere l'arco al variare della corrente, quando, per ogni valore della corrente, si sono raggiunte e si mantengono le condizioni di regime. Si fa riferimento, cioè, a condizioni in cui vi è un equilibrio stabile e permanente nel tempo tra l'energia prodotta nell'arco e quella dissipata.

La caratteristica in regime dinamico, detta caratteristica dinamica, invece, è associata a condizioni variabili nel tempo, quali quelle che si hanno, ad esempio, quando variano, più o meno rapidamente, i valori di corrente, di lunghezza d'arco, di raffreddamento, e così via. In queste condizioni, nella determinazione del valore della tensione necessario a sostenere l'arco in corrispondenza di un determinato valore di corrente, non si può prescindere dalle vicissitudini che l'arco ha subito prima di essere percorso da quel particolare valore di corrente. Entrano cioè in gioco e hanno un ruolo fondamentale l'inerzia termica dell'insieme "arco-elettrodi" e lo stato di ionizzazione dello stesso; quando varia la corrente, infatti, la temperatura dell'arco e degli elettrodi nonché lo stato di ionizzazione del mezzo presentano una inerzia per cui tendono a mantenere le condizioni di partenza.

È importante osservare fin d'ora che mentre in corrente continua si fa riferimento, almeno dal punto di vista teorico, alle caratteristiche statica e dinamica

dell'arco, in corrente alternata, stante le condizioni di variabilità nel tempo della corrente, si fa sempre riferimento alla caratteristica dinamica dell'arco.

### 2.1.1 Caratteristica statica dell'arco

In condizioni "teoriche" di stazionarietà, la caratteristica d'arco può essere rappresentata a mezzo della legge di Ayrton, ricavata sperimentalmente e valida per archi corti e correnti continue non molto elevate. Questa legge porge:

$$U_a = A + \frac{B}{I} + C l + \frac{D l}{I}, \quad (\text{III.1})$$

essendo:

- A è la caduta di tensione catodica e anodica, indipendente dalla corrente d'arco;
- B/I è la caduta di tensione catodica e anodica, dipendente dalla corrente d'arco;
- C è la caduta di tensione per unità di lunghezza della colonna positiva, indipendente dalla corrente d'arco;
- D/I è la caduta di tensione per unità di lunghezza della colonna positiva, dipendente dalla corrente d'arco;
- l è la lunghezza della colonna positiva, assunta coincidente, per i motivi detti in precedenza, con la lunghezza dell'arco.

La fig.III.3 mostra una famiglia di tali caratteristiche per diversi valori di lunghezza d'arco.

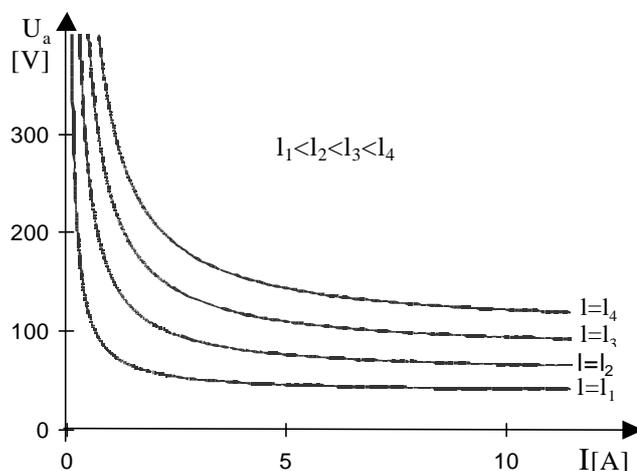


Fig. III.3 - Caratteristica statica dell'arco per differenti valori della lunghezza d'arco

### 2.1.2 Caratteristica dinamica dell'arco

Per i motivi illustrati in precedenza, nel seguito occorrerà distinguere tra caratteristica dinamica in corrente continua e caratteristica dinamica in corrente alternata.

La caratteristica dinamica di un arco in corrente continua è riportata nella fig.III.4. Da essa si può notare che se la corrente prima cresce (a) e poi decresce (b) la tensione d'arco assume valori differenti; è presente, cioè, un fenomeno che prende il nome di isteresi dell'arco elettrico.

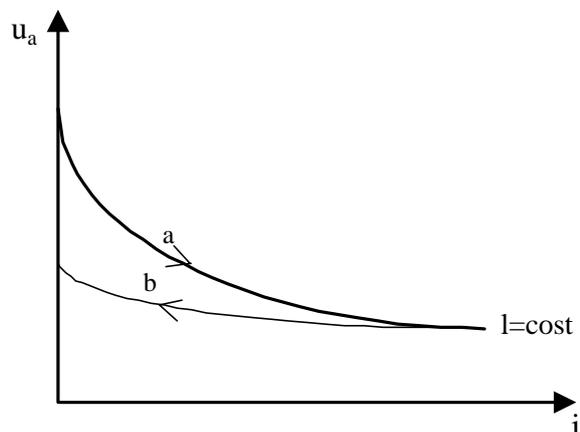


Fig. III.4 - Caratteristica dinamica dell'arco in corrente continua

La caratteristica dinamica di un arco in corrente alternata è riportata nella fig.III.5. Si noti che sono interessati due quadranti, in quanto la corrente può assumere valori sia positivi che negativi. La curva del primo quadrante è percorsa in corrispondenza dei valori positivi della corrente, prima crescenti e poi decrescenti. Dualmente per quanto riguarda la curva del terzo quadrante; anche qui è presente il fenomeno dell'isteresi dell'arco per valori di corrente crescenti e decrescenti. I tratti di raccordo tra le curve dei due quadranti si hanno in corrispondenza degli istanti in cui la corrente inverte il segno.

A partire dalla caratteristica d'arco della fig.III.5 e assumendo che la corrente che percorre l'arco abbia un andamento sinusoidale, si può pervenire facilmente all'andamento nel tempo della tensione d'arco; quest'ultimo e l'andamento nel tempo della corrente sono riportati nella fig.III.6.

Dall'analisi della fig.III.6 si nota che la tensione d'arco è in fase con la corrente, ed è anche per questo che l'arco è spesso assimilato ad un conduttore dotato di sola resistenza.

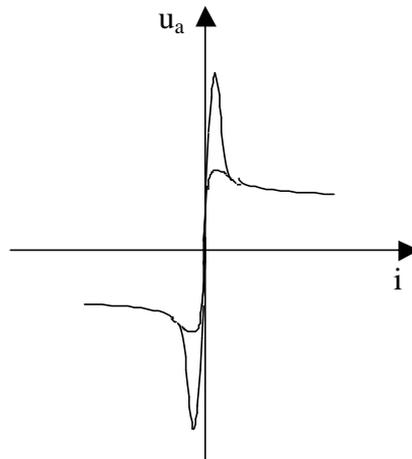


Fig. III.5 - Caratteristica dinamica dell'arco in corrente alternata

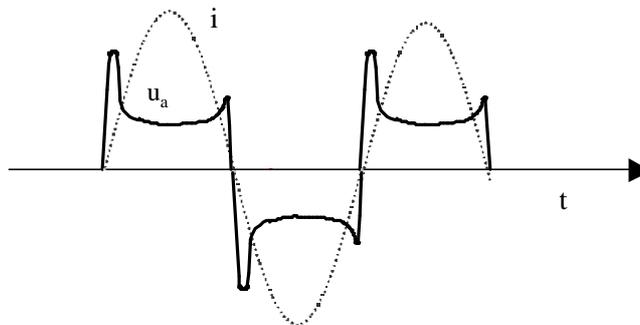


Fig. III.6 - Andamenti nel tempo della tensione e della corrente d'arco

## 2.2 Processo di interruzione

Il processo di interruzione è il processo che riduce a zero definitivamente la corrente nell'arco. Questo processo, come già detto, si attua con modalità diverse in corrente continua ed in corrente alternata.

### 2.2.1 Interruzione in corrente continua

Si faccia riferimento al circuito in condizioni normali (circuito "sano") della fig.III.7 a) alimentato da una tensione continua  $E$  e nel quale circola, a interruttore chiuso, la corrente continua  $i_0 = E / (R + R_c)$ .

Si supponga di comandare l'apertura dell'interruttore. All'apertura dell'interruttore consegue un transitorio elettrico determinato dall'allungamento dell'arco e, quindi, dalla variazione nel tempo della tensione d'arco  $u_a$ ; tale transitorio sarà regolato dalla equazione differenziale:

$$E - (R + R_c) i - L \frac{di}{dt} - u_a = 0 \quad (\text{III.2})$$

da cui:

$$L \frac{di}{dt} = E - (R + R_c) i - u_a . \quad (\text{III.3.a})$$

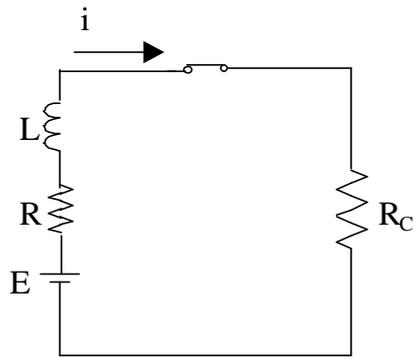
Dalla (III.3) si nota subito che il segno della caduta di tensione induttiva definisce il segno della variazione della corrente  $i$  che si vuole interrompere: se esso è positivo la corrente aumenta, se è negativo la corrente decresce. La condizione che deve essere, quindi, verificata affinché l'arco si estingua definitivamente è che la caduta di tensione induttiva sia stabilmente negativa così da avere una corrente nell'arco che decresce nel tempo fino ad annullarsi.

Per comprendere in che modo la suddetta condizione può verificarsi, si assuma che la tensione d'arco sia data, al variare di  $i$ , dalla caratteristica statica dell'arco riportata nella fig. III.3.

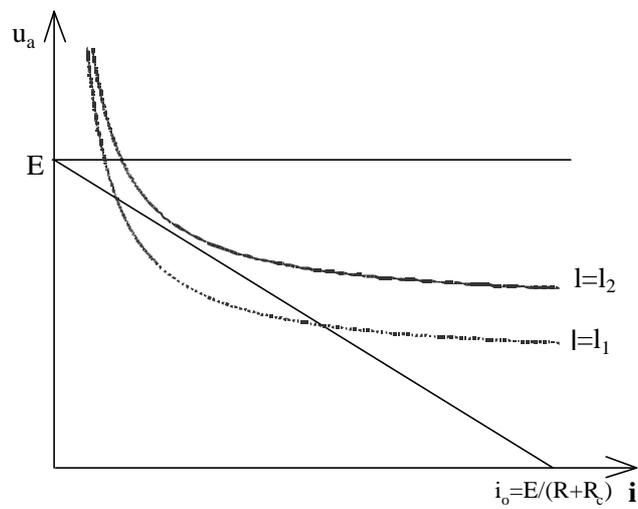
Se l'arco raggiunge una lunghezza, ad esempio la lunghezza  $l_2$  nella fig. III.7 b), tale da far sì che la sua caratteristica statica giaccia tutta al di sopra della retta di carico (retta di equazione  $y = f(i) = [E - (R + R_c) i]$ ), si ha che per ogni valore di corrente risulta  $u_a > [E - (R + R_c) i]$ , per cui la caduta di tensione induttiva è negativa e, quindi, la corrente non può che decrescere fino ad annullarsi.

Se si osserva, poi, che la caratteristica statica dell'arco in corrente continua tende ben presto a diventare costante al variare della corrente e che la resistenza può assumere valori variabili, anche piccoli (si veda, ad esempio, quanto accade in condizioni anormali del circuito elettrico), la suddetta condizione di buon fine del processo di interruzione si può anche cautelativamente enunciare dicendo che affinché l'arco si estingua definitivamente è necessario che l'arco raggiunga una lunghezza  $l_2$  tale che la tensione d'arco assuma, per ogni valore di corrente, valori superiori ad  $E$  (fig. III.7 c).

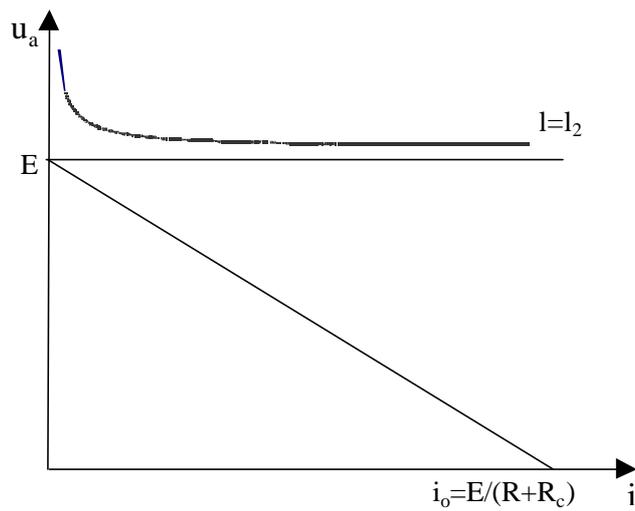
Nelle fig. III.8 a) e b) si riportano, rispettivamente gli andamenti nel tempo della tensione ai capi dell'interruttore  $u_i$  e della corrente durante una manovra di interruzione. La espressione analitica della corrente nella fase successiva in cui tra i poli dell'interruttore è presente l'arco può facilmente ricavarsi risolvendo l'equazione dell'equilibrio elettrico ai valori istantanei valida in tale fase; nella fig. III.8 a) essa è stata ricavata ipotizzando una tensione d'arco costante che assume senza alcun ritardo il valore  $U_a^*$  superiore ad  $E$ .



a)



b)



c)

Fig. III.7 - Interruzione di corrente continua in condizioni normali del circuito elettrico

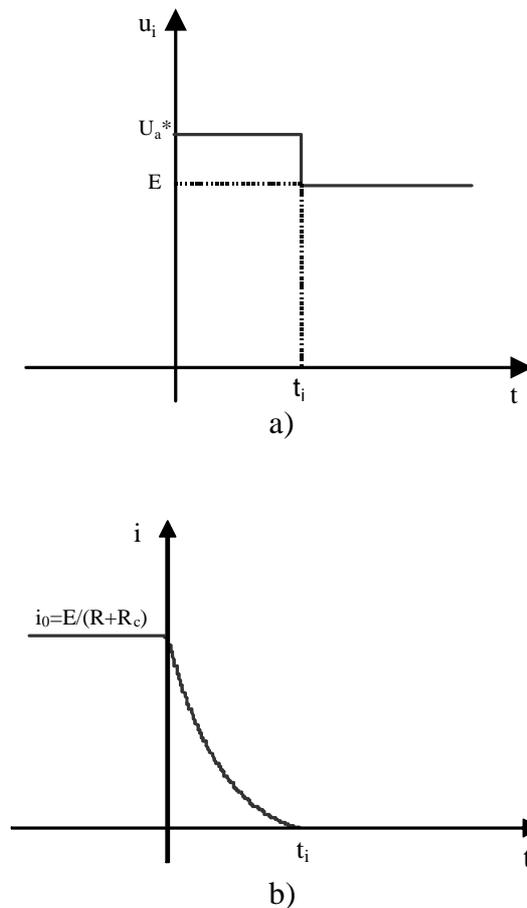


Fig. III.8 - Andamenti nel tempo della tensione ai capi dell'interruttore  $u_i$  e della corrente nel circuito della fig.III.7 a).

Discorso analogo vale nel caso in cui si debba interrompere la corrente continua in condizioni di corto circuito (Fig. III.9), basta osservare che la corrente di corto circuito è limitata dalla sola resistenza  $R$  e dalla induttanza  $L$  e che, quindi, la III.3 a) diventa:

$$L \frac{di_{cc}}{dt} = E - R i_{cc} - u_a . \quad (III.3.b)$$

Nelle fig. III.10 a) e b) si riportano, rispettivamente gli andamenti nel tempo della tensione ai capi dell'interruttore  $u_i$  e della corrente durante una manovra di interruzione in corto circuito. La espressione analitica della corrente nelle varie fasi può facilmente ricavarsi risolvendo le equazioni dell'equilibrio elettrico ai valori istantanei valide nelle varie fasi che caratterizzano il processo di interruzione; nella fig. III.10 a) si è ancora una volta ipotizzata una tensione d'arco costante  $U_a^*$  di valore superiore ad  $E$ . Si noti che la tensione d'arco  $U_a^*$  si stabilisce all'istante  $t_1 > 0$  in cui si separano i contatti; ciò avviene con un certo ritardo rispetto all'istante  $t = 0$  in cui è avvenuto il corto circuito, a seguito di inevitabili ritardi tra l'istante in cui si verifica la condizione di guasto e l'istante in cui cominciano a separarsi i contatti dell'interruttore.

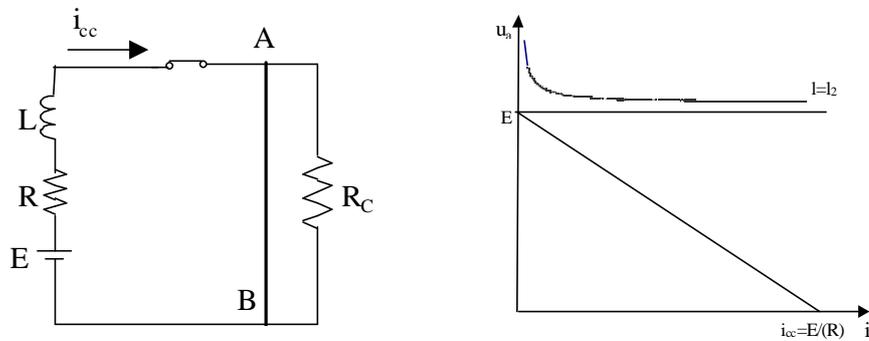


Fig. III.9 - Interruzione di corrente continua in condizioni anormali del circuito elettrico.

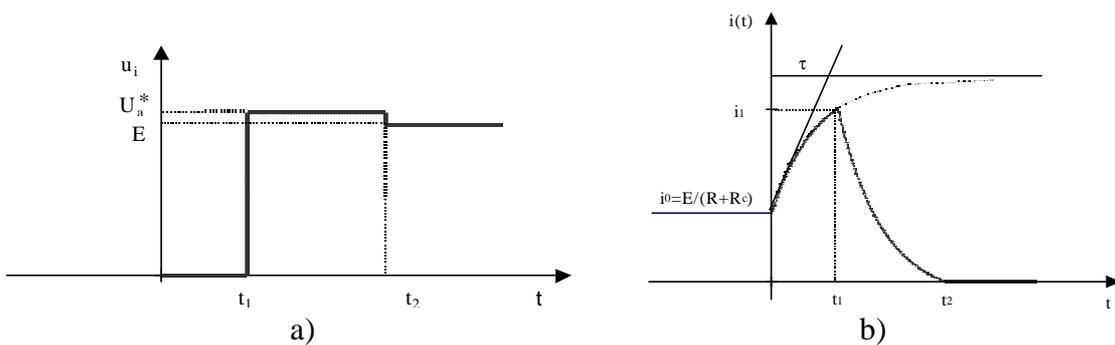


Fig. III.10 - Andamenti nel tempo della tensione ai capi dell'interruttore (a) e della corrente (b) nel circuito della fig. III.9 a).

Prima di concludere lo studio del processo di interruzione in corrente continua, è importante fare delle considerazioni su alcune grandezze che rendono tale processo particolarmente gravoso.

Si prenda in considerazione l'energia messa in gioco dalla presenza dell'arco, detta "energia d'arco". Essa è data da:

$$W_a = \int_{T_a} u_a i_{cc} dt \quad (III.4)$$

in cui, al solito,  $u_a$  è la tensione d'arco,  $i_{cc}$  la corrente che lo percorre e  $T_a$  la durata d'arco (nella fig. III.10 b) tale durata è pari a  $t_2 - t_1$ ).

Quando è presente l'arco, vale la (III.3 b); se da essa si ricava la  $u_a$  e la si sostituisce nella relazione di definizione dell'energia d'arco (III.4) si ha che:

$$W_a = \int_{T_a} \left( E - L \frac{di_{cc}}{dt} - Ri_{cc} \right) \cdot i_{cc} dt = \int_{T_a} E i_{cc} dt - \int_{i_1}^0 L i_{cc} di - \int_{T_a} R i_{cc}^2 dt = \int_{T_a} (E i_{cc} - R i_{cc}^2) dt + \frac{1}{2} Li_1^2 \quad (III.5)$$

L'energia dissipata durante l'interruzione di un arco in corrente continua è, quindi, somma di due termini: uno dato dalla differenza tra l'energia fornita dall'alimentazione e quella dissipata per effetto Joule, che dipende dall'interruttore attraverso la durata dell'arco  $T_a$ , e l'altro, indipendente dall'interruttore e proporzionale all'energia elettromagnetica immagazzinata nel circuito all'atto dell'apertura dei contatti.

È possibile dimostrare che l'energia d'arco  $W_a$  varia, complessivamente, tra 1 e 2 volte  $\frac{1}{2} Li_1^2$ , per cui è evidente che limitare l'energia elettromagnetica significa limitare complessivamente l'energia d'arco e, quindi, le difficoltà associate all'interruzione stessa. Questo obiettivo si può conseguire (fig.III.10 b) riducendo la corrente  $i_1$  attraverso una congrua riduzione del tempo  $t_1$ ; questo è possibile se si impiegano interruttori i cui tempi di apertura siano quanto più brevi è possibile (interruttori extra-rapidi).

La scelta del tempo  $t_1$  più opportuno, poi, va fatta anche in dipendenza delle caratteristiche del circuito in cui l'interruttore è inserito, ed in particolare in funzione della costante di tempo  $\tau=L/R$  dello stesso. È interessante, infatti, notare che l'andamento nel tempo della corrente di cortocircuito nell'intervallo  $(0, t_1)$  (fig.III.10 b), quando cioè i contatti non si sono ancora separati, e quindi anche il valore che la corrente raggiunge all'istante  $t = t_1$  (e cioè  $i(t_1) = i_1$ ), dipendono, tra l'altro, anche dalla suddetta costante di tempo  $\tau = L/R$  e, quindi, dalle caratteristiche del circuito in cui l'apparecchio è inserito: più piccola è la costante di tempo, maggiore è, a parità di  $t_1$ , il valore di  $i_1$ , e viceversa. È questo il motivo per cui i costruttori di interruttori destinati ad interrompere una corrente continua forniscono anche il valore limite della costante di tempo per cui sono garantite le prestazioni dell'interruttore.

### 2.2.2 Interruzione in corrente alternata

Il processo di interruzione in corrente alternata si presenta fondamentalmente diverso da quello in corrente continua. Nel caso della corrente alternata, infatti, la corrente che attraversa l'arco si annulla naturalmente ogni semiperiodo, con conseguente spegnimento dell'arco; questa favorevole circostanza rende l'interruzione in corrente alternata, a parità di corrente, più facile di quella in corrente continua, in cui non esiste nessun istante di passaggio naturale per zero della corrente

L'obiettivo del processo di interruzione in corrente alternata è quello di evitare che, dopo lo spegnimento naturale dell'arco, questo si riadeschi ripristinando così la continuità elettrica tra i contatti.

Molteplici sono le teorie, alcune anche molto recenti, che hanno cercato di spiegare, in modo più o meno rigoroso, il processo di interruzione in corrente alternata e, in particolare, cosa accade negli istanti successivi allo spegnimento naturale dell'arco. Nel seguito si farà riferimento ad una di tali teorie, detta "teoria del riadesco dielettrico

dell'arco", che, seppure non abbraccia tutti gli aspetti di dettaglio del processo di interruzione in corrente alternata, ha il pregio di renderne immediata la comprensione.

Si analizzi cosa succede negli istanti immediatamente successivi a quando la corrente passa per lo zero e, quindi, l'arco si spegne naturalmente. Tenendo conto del fatto che lo spazio tra i contatti fino ad un istante prima era fortemente ionizzato per la presenza dell'arco, si comprende che tale spazio non può ripristinare istantaneamente la sua piena rigidità dielettrica. La ionizzazione residua che è ivi presente non scompare istantaneamente, ma tende a decrescere gradualmente nel tempo; altrettanto gradualmente nel tempo il mezzo interposto tra i contatti tende a ripristinare la sua rigidità dielettrica con la conseguenza che aumenta il valore di tensione  $v_d$  necessario a riadescare l'arco. La curva che riporta l'andamento della tensione  $v_d$  al variare del tempo (fig.III.11 a) è detta curva di ripristino della rigidità dielettrica; lo zero dell'asse dei tempi corrisponde, in base a quanto detto in precedenza, all'istante di spegnimento naturale dell'arco.

A parità di distanza tra i contatti, quanto più rapida è l'attitudine del mezzo interposto tra i contatti a perdere ionizzazione (o per caratteristiche proprie o per azione prodotta dall'esterno) tanto più rapidamente crescerà nel tempo la sua rigidità dielettrica e, quindi, la tensione necessaria a riadescare l'arco. Con l'aumentare della distanza tra i contatti, è evidente, poi, risultano ancor più elevati i valori di tensione necessari a riadescare l'arco: la curva di ripristino della rigidità dielettrica tenderà a spostarsi verso l'alto (fig.III.11 b) e, quindi, nei successivi passaggi per zero della corrente si verificano condizioni sempre più favorevoli all'estinzione dell'arco.

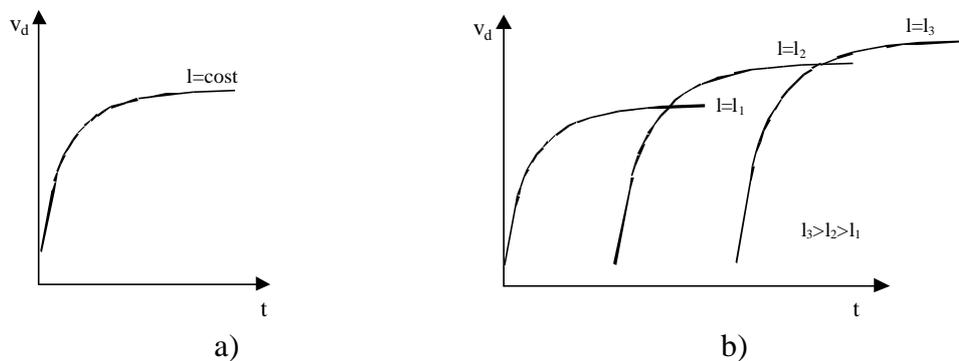


Fig. III.11 - Curve di ripristino della rigidità dielettrica

È interessante notare, infine, che le curve della fig.III.11 partono da un valore di tensione diverso da zero; questo è dovuto al fatto che, entro circa 1  $\mu$ s dallo zero di corrente, si forma vicino al catodo una guaina di ioni positivi che si oppongono al riadescare dell'arco: per questo motivo già dopo 1  $\mu$ s dallo spegnimento di quest'ultimo è necessario un valore significativo di tensione per riadescarlo.

È evidente che l'arco si riadesccherà o meno in dipendenza dei valori di tensione che il circuito in cui avviene l'interruzione impone ai morsetti dell'interruttore negli istanti successivi allo spegnimento naturale dell'arco. A tale ultima tensione verrà nel seguito data la denominazione di tensione di ristabilimento (dell'arco).

Detto, allora,  $v_d(t)$  l'andamento nel tempo della tensione necessaria a riadesco l'arco e  $v_r(t)$  quello della tensione di ristabilimento, vi sarà riadesco dell'arco se esiste un istante di tempo  $t^*$  tale che (fig.III.12 a):

$$v_r(t^*) = v_d(t^*);$$

non vi sarà riadesco dell'arco se, negli istanti successivi allo spegnimento naturale dell'arco risulterà sempre (fig.III.12 b):

$$v_r(t) < v_d(t).$$

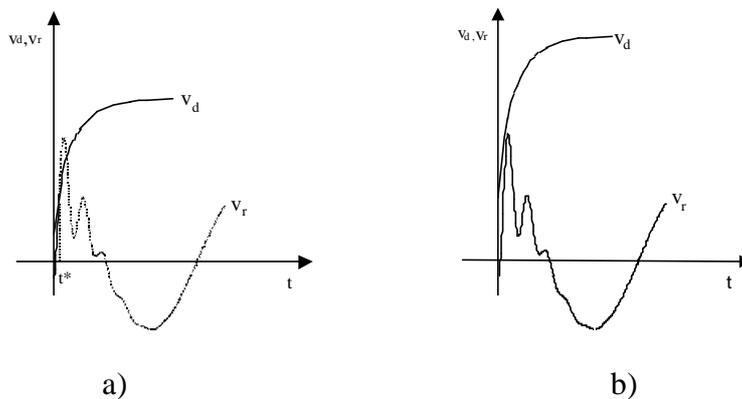


Fig. III.12 - Curve di ripristino della rigidità dielettrica e della tensione di ristabilimento

Con riferimento al fenomeno descritto, si è soliti dire che si tratta di una vera e propria gara di velocità, che parte dall'istante di zero della corrente, tra la rigidità dielettrica che si va ripristinando nel mezzo tra i contatti e la tensione di ristabilimento; la prima gioca a favore del non riadesco dell'arco e la seconda gioca contro.

In conclusione, il problema dell'interruzione di una corrente alternata può essere ricondotto allo studio dei seguenti due problemi:

- conoscere la curva di ripristino della rigidità dielettrica, che è una caratteristica dell'interruttore (del mezzo di estinzione impiegato, della velocità di allontanamento dei contatti, e così via);
- conoscere la curva della tensione di ristabilimento, che dipende principalmente dalle caratteristiche del circuito in cui avviene l'interruzione, come si vedrà in seguito.

La tensione di ristabilimento va valutata nelle differenti situazioni che si possono verificare nella pratica, poiché l'interruttore deve essere in grado di intervenire con successo in tutti i casi reali. Tali situazioni sono molteplici (cortocircuito ai morsetti dell'interruttore, guasto chilometrico, interruzioni di correnti capacitive, interruzione di correnti induttive, e così via); esse si ottengono dallo studio del transitorio elettrico dei circuiti equivalenti attraverso i quali è possibile modellare i vari casi di interesse.

Senza entrare nel merito di tali transitori, si riporta, a titolo di esempio, nella fig. III.13 l'andamento della tensione di ristabilimento nel caso di interruzione di correnti capacitive; si fa, poi, notare che nella fig. III.12 b) è, invece, riportato l'andamento

tipico della tensione di ristabilimento nel caso di un corto circuito in prossimità dell'interruttore.

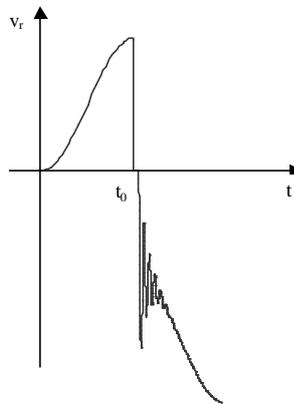


Fig. III.13 - Tensione di ristabilimento nel caso di interruzione di correnti capacitive.

Si fa notare anche che la tensione di ristabilimento dipende principalmente e non esclusivamente, come potrebbe sembrare, dalle caratteristiche del circuito; infatti, due interruttori diversi inseriti nello stesso circuito e sottoposti alla stessa operazione di manovra possono presentare differenti andamenti della tensione di ristabilimento. Ciò è dovuto al fatto che la presenza dell'interruttore altera le condizioni di funzionamento del circuito in cui esso è inserito: l'interruttore con la sua tensione d'arco, se questa è significativa, modifica l'andamento nel tempo della corrente; inoltre, subito dopo lo zero di corrente, esiste ancora una conducibilità residua, detta di post-arco, che è responsabile della circolazione di una corrente di conduzione fortemente variabile che, a sua volta, può essere causa di riadesco dell'arco per effetto termico.

L'influenza della tensione d'arco sull'andamento della corrente di corto circuito può essere significativa nel campo della bassa tensione. In tale ambito questo fenomeno assume una particolare importanza in quanto viene sfruttato in alcuni tipi di interruttori che, come si vedrà meglio nel seguito, sono detti limitatori. Tali interruttori evitano che la corrente di corto circuito assuma valori particolarmente elevati facendo in modo che la tensione d'arco assuma in tempi brevissimi un valore superiore al valore massimo della tensione di alimentazione.

Per comprendere tale fenomeno si faccia riferimento alla fig.III.14. In essa con  $i(t)$  si è indicato l'andamento nel tempo della corrente di corto circuito in assenza dell'effetto limitatore (confronta con fig. I.5 b del cap. I) e con  $i_L(t)$  il corrispondente andamento in presenza di tale effetto; nella stessa figura si è indicato, inoltre, con  $v(t)$  la tensione di alimentazione e con  $u_a(t)$  la tensione d'arco.

Se l'interruttore è realizzato in modo tale che i suoi contatti cominciano ad allontanarsi in tempi brevissimi, si avrà che la tensione d'arco  $u_a(t)$  compare ai capi dei poli dell'interruttore pochissimi istanti dopo il corto circuito (nella fig.III.14 nell'istante  $t_a$ ); a partire da questo istante, man mano che i poli dell'interruttore si allontanano, la tensione d'arco cresce rapidamente; nelle solite ipotesi semplificative, essa raggiunge

istantaneamente (a  $t = t_a$ ) un valore superiore al valore massimo della tensione di alimentazione.

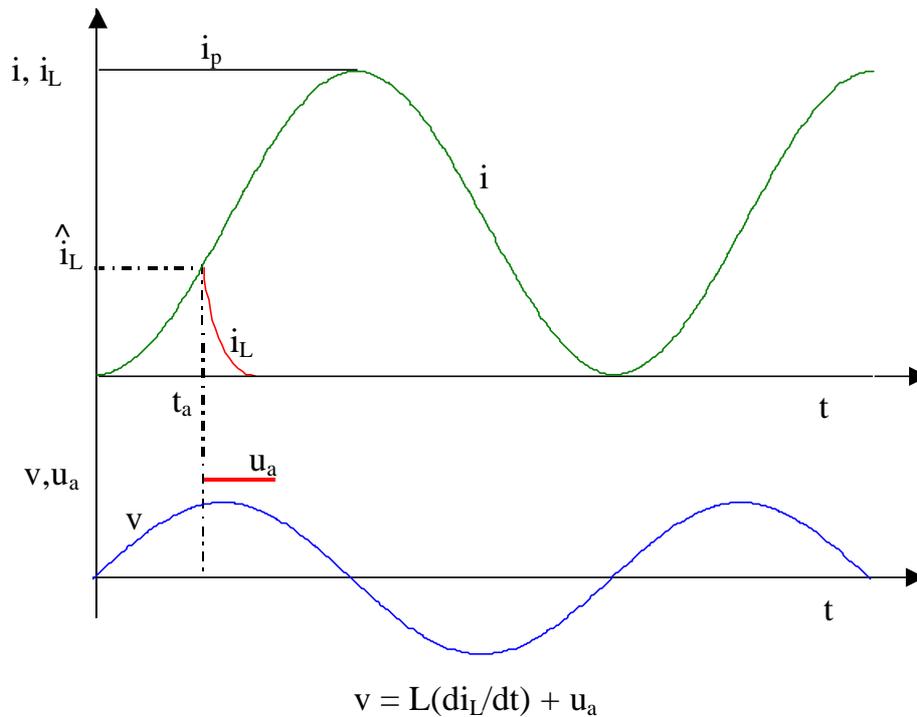


Fig. III.14 - Effetto di limitazione della tensione d'arco: andamento nel tempo delle grandezze elettriche di interesse.

A partire dall'istante  $t_a$ , come può immediatamente dedursi dall'analisi dell'equazione dell'equilibrio elettrico ai valori istantanei riportata nella stessa fig.III.14 (si è trascurata la resistenza), la derivata della corrente  $i_L(t)$  diventa negativa, per cui la corrente di corto circuito tende a diminuire fino ad annullarsi.

Come appare dalla fig.III.14 la corrente di corto circuito limitata  $i_L(t)$  assume un valore massimo  $\hat{i}_L$  decisamente inferiore al valore massimo  $i_p$  che assume la corrente di corto circuito  $i(t)$  in assenza dell'effetto limitatore; il rapporto:

$$k_1 = \frac{\hat{i}_L}{i_p} \quad \text{(III.6)}$$

è detto rapporto di limitazione dell'interruttore.

### 3. Chiusura di un circuito

Quando un interruttore chiude un circuito che si trovi in cortocircuito, prima che si chiudano i contatti si stabilisce tra essi l'arco elettrico, attraverso il quale passa una

corrente che può essere molto intensa; le forze elettrodinamiche che conseguentemente agiscono sui contatti possono essere tali da rallentare la chiusura e ridurre la pressione sui contatti quando la chiusura è avvenuta. Queste azioni fanno aumentare l'energia dissipata nell'arco per la maggiore durata dello stesso e sulla superficie dei contatti per la minore pressione su di essi. Se gli organi di chiusura non esercitano, quindi, forze adeguate, possono danneggiarsi o al limite incollarsi i contatti e l'apparecchio può anche venire distrutto se l'arco è persistente.

#### 4. Gli apparecchi di manovra

Dopo aver analizzato le problematiche relative all'apertura ed alla chiusura di un circuito, vengono presi in esame i vari apparecchi di manovra, riportando per ciascuno di essi il simbolo grafico C.E.I. (Comitato Elettrotecnico Italiano), la classificazione e la descrizione dei principali tipi. Nel caso particolare dei fusibili, poi, viene descritto anche il principio di funzionamento, in quanto esso si differenzia sostanzialmente da quello degli altri apparecchi.

##### 4.1 Interruttori

L'interruttore, il cui simbolo grafico C.E.I. è riportato nella fig.III.15, è un apparecchio di manovra capace di:

- interrompere e stabilire correnti in un circuito sano e in un circuito guasto;
- portare correnti in un circuito sano e, per una durata determinata, in un circuito guasto.



Fig. III.15 - Simbolo grafico C.E.I. dell'interruttore

Si noti dalla definizione la presenza di tre funzioni:

- interrompere, che è la funzione che l'interruttore compie passando dalla posizione di chiuso a quella di aperto;
- stabilire, che è la funzione che l'interruttore compie passando dalla posizione di aperto a quella di chiuso;
- portare, che è la funzione che l'interruttore compie restando nella posizione di chiuso.

Per un dato interruttore, tali funzioni nel caso di un circuito sano sono svolte dall'interruttore senza alcuna limitazione nella durata o nell'entità della corrente; nel caso, invece, di un circuito guasto, quali quelle che derivano dalla presenza di un

cortocircuito, le suddette funzioni possono essere svolte con qualche ovvia limitazione; infatti, le correnti di cortocircuito:

- possono essere interrotte o stabilite fino a determinati valori ed intervalli di tempo, che, come si vedrà meglio nel seguito, stanno a rappresentare i limiti di buon funzionamento dell'interruttore;
- possono essere portate solo per una durata specificata nella norma.

Come si evince dall'analisi delle funzioni di un interruttore, esso è caratterizzato da due posizioni stabili di funzionamento: interruttore chiuso e interruttore aperto.

È importante notare, poi, che l'interruzione o lo stabilirsi delle correnti avviene all'interno dell'interruttore, per cui nulla è visibile dall'esterno se non per la presenza di apposite indicazioni.

#### 4.1.1 Alcune grandezze caratteristiche

Al fine di riferire le caratteristiche dei vari interruttori ad un'unica corrente di cortocircuito, che sia indipendente dall'interruttore stesso, si suole introdurre la corrente presunta di cortocircuito, che è la corrente di cortocircuito che circolerebbe nel circuito, qualora l'interruttore fosse sostituito da un collegamento di impedenza trascurabile. Come già detto, di fatto, la corrente presunta di cortocircuito è proprio quella rappresentata nelle figg. I.11 e I.12 del cap.I.

L'attitudine che un interruttore ha ad interrompere una corrente di cortocircuito è, quindi, espressa dai costruttori con riferimento alla corrente di cortocircuito presunta che è la stessa per tutti gli interruttori in quanto non dipende dalla loro presenza nel circuito. È evidente che un discorso analogo vale se si fa riferimento al caso in cui l'interruttore, invece di interrompere una corrente di cortocircuito, è chiamato a stabilirla.

Le grandezze attraverso le quali il costruttore di interruttori quantizza l'attitudine di cui sopra sono chiamate nella pratica:

- potere di interruzione o di apertura;
- potere di chiusura.

In particolare:

- il potere di interruzione è il valore efficace della più elevata componente simmetrica della corrente di cortocircuito presunta che l'interruttore è in grado di interrompere, qualunque sia il valore della componente unidirezionale<sup>2</sup>;
- il potere di chiusura è il valore massimo della più elevata corrente di cortocircuito presunta che l'interruttore è in grado di stabilire.

Si fa riferimento nel primo caso al valore efficace e nel secondo al valore massimo, perché l'interruzione è legata all'energia associata all'arco mentre la chiusura è legata agli sforzi elettrodinamici che si generano tra i contatti.

---

<sup>2</sup> Infatti, quando scocca l'arco il valore efficace della componente simmetrica è costante, e quindi, non dipende dal tempo di apertura dell'interruttore, e predeterminabile, mentre il valore della componente unidirezionale non è costante, e quindi, dipende dal tempo di apertura dell'interruttore, e non è predeterminabile.

Altre grandezze caratteristiche degli interruttori, implicitamente introdotte parlando di apertura e chiusura di un circuito, riguardano la durata delle suddette manovre.

Tra l'istante in cui viene applicato il comando al dispositivo di apertura e l'istante in cui i contatti si allontanano e scocca l'arco passa un intervallo di tempo, che dipende dal tempo proprio di funzionamento dell'interruttore e da quello del dispositivo che consente l'apertura: questo intervallo di tempo è detto tempo di apertura.

L'arco, una volta adescato, dura, poi, per un certo periodo di tempo; l'intervallo di tempo intercorrente tra gli istanti di inizio e di estinzione definitiva dell'arco viene chiamato durata (tempo) d'arco.

L'intervallo somma della durata di apertura e di quella d'arco è detto tempo di interruzione.

Per quanto riguarda le operazioni di chiusura, l'intervallo di tempo tra l'istante di comando di chiusura ed il congiungimento dei contatti in tutti i poli viene chiamato tempo di chiusura.

Sempre con riferimento alle operazioni di apertura e di chiusura, vi è da fare una osservazione molto importante relativa al fatto che per eliminare i guasti transitori delle linee (cioè quelli che si autoestingono), che fra l'altro sono i più frequenti, è particolarmente utile dotare gli interruttori di dispositivi ausiliari di richiusura automatica. In caso di cortocircuito l'interruttore apre ma, poi, si richiude automaticamente dopo un tempo di attesa brevissimo (richiusura rapida); se il guasto è transitorio questo si elimina. Se il guasto permane, dopo una ulteriore apertura, in alcuni casi l'interruttore si richiude automaticamente dopo un tempo di attesa maggiore (richiusura lenta). Se il guasto permane ancora si ha una definitiva apertura. I benefici che si ottengono in termini di continuità del servizio sono evidenti.

In pratica, ad esempio negli interruttori a tensione superiore a 1000 V, i valori dei poteri di interruzione e di chiusura così come sono stati definiti in precedenza, sono riferiti ad una sequenza nominale di operazioni del tipo indicato, ad esempio, dalla seguente stringa

$$O - t - CO - t' - CO, \quad (III.7)$$

dove:

- O     indica la manovra che porta all'interruzione della corrente
- CO    indica la manovra di chiusura e apertura senza attesa
- t, t'   indicano i tempi di attesa tra due manovre successive.

La suddetta stringa si legge nel seguente modo:

*apre - resta aperto per un intervallo pari a t - chiude e apre senza ritardo - resta aperto per un intervallo pari a t' - chiude ed apre senza ritardo.*

Valori tipici per t sono 0,3 s per richiusura rapida automatica e 3 minuti negli altri casi; valori tipici per t' sono 1 minuto per gli interruttori con t = 0,3 s oppure 3 minuti.

#### 4.1.2 Classificazione e descrizione

Una prima classificazione degli interruttori è legata al tipo di dielettrico impiegato quale mezzo di estinzione dell'arco. Tali dielettrici sono l'aria a pressione atmosferica, l'olio, l'aria compressa, l'esafluoruro di zolfo e il vuoto; essi danno il nome agli interruttori che, pertanto, sono detti:

- interruttori in aria a pressione atmosferica,
- interruttori in olio,
- interruttori in aria compressa,
- interruttori in esafluoruro di zolfo,
- interruttori sotto vuoto.

Gli interruttori possono, poi, classificarsi anche in base al valore della tensione d'arco che si stabilisce tra i poli durante il loro intervento. Si parla, infatti, di:

- interruttori a bassa resistenza d'arco, in cui la tensione d'arco è una aliquota trascurabile della tensione del sistema;
- interruttori ad alta resistenza d'arco, in cui la tensione d'arco non è una aliquota trascurabile della tensione del sistema.

Negli interruttori ad alta resistenza d'arco, la tensione d'arco assume valori tali da modificare significativamente l'andamento nel tempo delle grandezze che interessano il fenomeno di interruzione. In questi interruttori, la tensione d'arco esercita un effetto benefico ai fini dell'interruzione (si veda, ad esempio, quanto detto a proposito dell'effetto limitatore della tensione d'arco nella bassa tensione) per cui è possibile impiegare, come mezzo dielettrico tra i contatti dopo lo spegnimento naturale dell'arco stesso, un mezzo di qualità non eccelse quale l'aria. In questa categoria di interruttori sono inclusi gli interruttori in aria a pressione atmosferica.

Negli interruttori a bassa resistenza d'arco, in cui non si hanno i benefici derivanti dalla elevata tensione d'arco, è necessario, invece, impiegare come mezzo dielettrico tra i contatti dopo lo spegnimento naturale dell'arco un dielettrico di buona qualità che garantisca un rapido ripristino della rigidità dielettrica. Di questa categoria di interruttori fanno parte gli interruttori in olio, quelli in aria compressa e quelli in esafluoruro di zolfo.

##### a) Interruttori in aria a pressione atmosferica

Negli interruttori in aria l'arco si forma e si estingue in aria a pressione atmosferica.

I primi interruttori di questo tipo sono apparsi alla fine del XIX secolo. Essi, di cui si fa un breve cenno per motivi storici e perché le tecniche di spegnimento dell'arco impiegate a quell'epoca sono ancora oggi in uso, erano del tipo riportato nella fig.III.16: quando il contatto mobile lascia il contatto fisso, scocca l'arco che si trasferisce per effetto termico sulle corna disposte superiormente per, poi, traslare verso l'alto per l'azione ponderomotrice causata dalla interazione tra la corrente che percorre l'arco e il campo magnetico generato dalla spira costituita dall'arco e dalle corna stesse. Il

conseguente aumento della lunghezza dell'arco è tale da garantire lo spegnimento dello stesso.

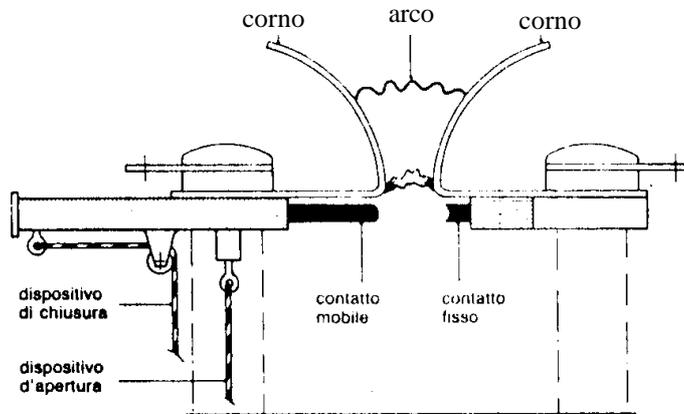


Fig. III.16 - Interruttore in aria del 1900

Il principale tipo di interruttore in aria oggi in uso è l'interruttore detto a soffio magnetico, di cui la fig. III.17 è un esempio impiegato nella media tensione.

In questo interruttore, quando il contatto mobile abbandona il contatto fisso, si produce un arco (posizione 1) che per effetto termico si sposta verso l'alto (posizione 2) trasferendosi sui contatti ausiliari (posizione 3) e determinando così l'inserzione di una bobina ausiliaria, detta bobina di soffio, che, percorsa dalla corrente d'arco, produce un campo magnetico ortogonale e uscente dal piano del disegno. L'arco, essendo immerso nel suddetto campo magnetico, è soggetto ad una azione ponderomotrice che, per come sono realizzate le connessioni della bobina, lo spinge verso l'alto verso le posizioni 4 e 5. In tal modo l'arco viene a contatto con le piastre isolanti di materiale ceramico ad elevata capacità termica, che sono sagomate in modo tale da far sì che, ma mano che l'arco si sposta verso l'alto, esso segua un cammino sempre più lungo e tortuoso. In questo modo, l'arco si assottiglia, si allunga e viene facilmente raffreddato e deionizzato, per cui, si interrompe definitivamente al primo passaggio per lo zero della corrente.

È interessante osservare che, nel caso di piccole correnti induttive o capacitive, il campo magnetico potrebbe essere troppo debole per assicurare un soffio magnetico adeguato; può essere pertanto previsto un dispositivo ausiliario di soffio d'aria a pistone che dirige un getto d'aria contro l'arco spingendolo entro le piastre deionizzanti.

Sempre nel campo degli interruttori in aria, un ulteriore tipo, cui si è già fatto riferimento parlando dell'effetto di limitazione della tensione d'arco, è l'interruttore limitatore (fig.III.18).

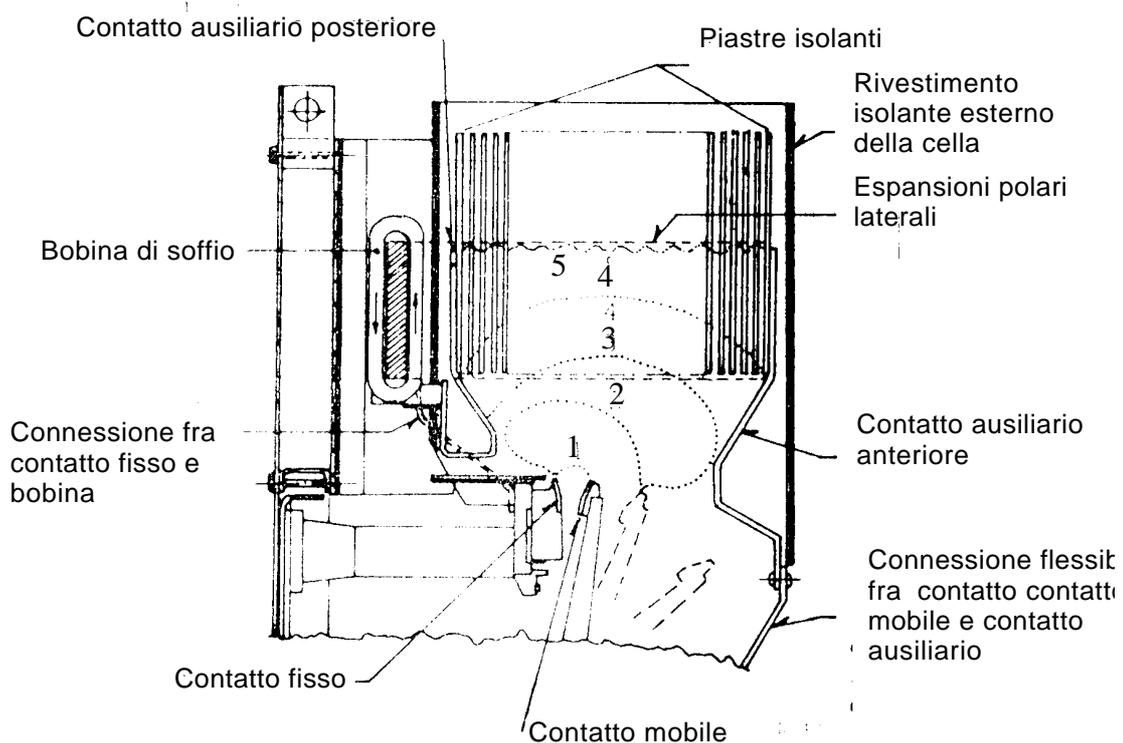


Fig. III.17 - Interruttore in aria per media tensione

La limitazione della corrente, come ben noto, si ottiene:

- riducendo al massimo il tempo di separazione dei contatti;
- facendo in modo che la tensione d'arco che nasce all'atto della suddetta separazione raggiunga valori molto elevati, superiori al valore di picco della tensione di alimentazione, così da portare la corrente rapidamente a zero.

La separazione rapida dei contatti si può ottenere in svariati modi; uno dei più semplici ed impiegati è quello in cui la separazione si ottiene sfruttando le forze elettrodinamiche di repulsione che si stabiliscono tra i contatti percorsi dalla corrente di cortocircuito. Per rendersi meglio conto si soffermi l'attenzione sui contatti dell'interruttore e sul percorso della corrente di corto circuito evidenziati nella fig.III.18 a): i contatti, fisso e mobile, sono percorsi da correnti in senso opposto, il che dà luogo ad una chiara forza repulsiva di natura elettrodinamica tra gli stessi che si va a sommare a quella di natura meccanica di allontanamento normalmente presente; queste due azioni congiunte, ma soprattutto la prima, fanno sì che i contatti si allontanino in modo veramente molto repentino.

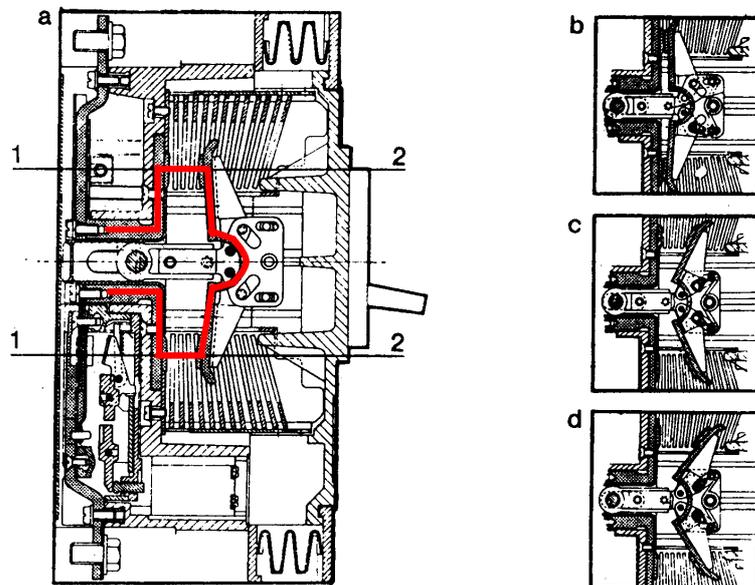


Fig. III.18 - Interruttore in aria limitatore per bassa tensione: a) contatti in posizione di interruttore aperto; b), c) e d) fasi di separazione dei contatti.

Per rendere, poi, particolarmente elevato il valore della tensione d'arco si ricorre a particolari accorgimenti costruttivi delle camere di interruzione; nel caso particolare dell'interruttore limitatore riportato nella fig.III.18, ad esempio, sono presenti due camere di estinzione, una superiore e l'altra inferiore, in cui i due archi, che scoccano tra i punti 1 e 2, vengono inviati per il raffreddamento e l'allungamento.

Gli interruttori in aria sono praticamente gli unici impiegati nei sistemi di prima categoria. Trovano poche applicazioni nel campo dei sistemi di seconda categoria e nessuna nel campo dei sistemi di terza categoria.

#### b) Interruttori in olio

In questi interruttori l'arco si forma nell'olio che, a spese dell'energia posseduta dall'arco stesso, si decompone e vaporizza, con produzione di prodotti carboniosi e di una considerevole quantità di idrogeno. Quest'ultimo riveste un ruolo fondamentale nel processo di interruzione, grazie soprattutto alla sua grande conducibilità termica dovuta alla elevata velocità delle sue leggerissime molecole.

Negli interruttori detti in gergo a volume d'olio ridotto (VOR), il processo di interruzione viene confinato entro camere di dimensioni ridotte, dette di interruzione, capaci di sopportare pressioni anche elevatissime (100 ÷ 150 bar).

Per comprendere meglio il meccanismo di interruzione negli interruttori a volume d'olio ridotto, si faccia riferimento, a titolo di esempio, alla fig.III.19, in cui si sono riportate le varie fasi di intervento di uno di questi interruttori supposto dotato di una camera di interruzione a soffiaggio assiale. Al distacco meccanico dei poli scocca l'arco che viene stirato verticalmente nella camera di interruzione che è piena d'olio;

l'energia messa in gioco dall'arco determina la decomposizione e la vaporizzazione dell'olio, con notevole produzione di idrogeno, che facilita lo scambio termico tra arco e dielettrico circostante. Nel contempo, attorno all'arco, si ha anche la formazione di bolle, che generano elevati valori di pressione nei pressi dell'arco stesso e, quindi, elevate differenze di pressione tra interno ed esterno della camera di interruzione.

In particolare, le differenze di pressione che si creano tra interno ed esterno della camera hanno un notevole effetto benefico in quanto fanno sì che:

- il gas defluisce rapidamente verso l'esterno attraverso gli ugelli di soffiaggio appositamente previsti e dimensionati;
- viene richiamato all'interno della camera, e quindi a contatto con l'arco, olio fresco, in modo tale che il processo si itera.

Il processo precedentemente esposto è detto di autosoffiaggio proprio perché è l'arco stesso, con la sua energia, senza interventi dall'esterno, a vaporizzare l'olio ed a creare i gradienti di pressione necessari al ricambio dell'olio stesso.

In questi interruttori è, poi, presente una sorta di autoregolazione, in quanto la massa d'olio interessata al processo di interruzione è proporzionale al calore prodotto e, quindi, all'intensità della corrente da interrompere. Questo effetto di autoregolazione, nel caso di piccole correnti, è benefico perché evita strappamenti dell'arco<sup>3</sup>, anche se in alcuni casi può causare problemi in quanto ritarda il completamento del processo di interruzione.

Quando l'arco si spegne naturalmente per il passaggio per zero della corrente che lo percorre, si ha un rapidissimo ripristino della rigidità dielettrica, grazie soprattutto all'azione dei suaccennati gradienti di pressione (e connessi moti vorticosi dell'olio) che provvedono a sostituire pressoché istantaneamente il dielettrico consumato (olio decomposto) con olio fresco; ne deriva da ciò una curva di ripristino della rigidità dielettrica molto elevata per cui questo tipo di interruttore trova applicazioni particolarmente efficaci laddove si hanno tensioni di ristabilimento a fronte ripido.

Gli interruttori a volume d'olio ridotto, quindi, hanno un ottimo comportamento in presenza di tensioni di ristabilimento con velocità di crescita molto elevata; meno buono può essere il comportamento in presenza di deboli correnti in quanto il succitato meccanismo di autoregolazione potrebbe essere causa di un ritardo nell'interruzione e, quindi, dell'esaltazione delle sovratensioni che si determinano nell'impianto.

Gli interruttori a volume d'olio ridotto, possono essere costituiti da una o più camere di interruzione per polo poste in serie tra loro. Il ricorso alla interruzione multipla si ha al crescere della tensione.

Gli interruttori in olio trovano applicazione nel campo dei sistemi di seconda e terza categoria; non hanno applicazione nei sistemi di prima categoria.

---

<sup>3</sup> Si intende per strappamento dell'arco il caso in cui l'arco si spegne in corrispondenza di un valore di corrente diverso da zero. Ciò può accadere nel caso di interruzione di piccole correnti e può comportare sovratensioni pericolose in quanto, all'atto dello strappamento dell'arco, è presente una energia elettromagnetica diversa da zero.

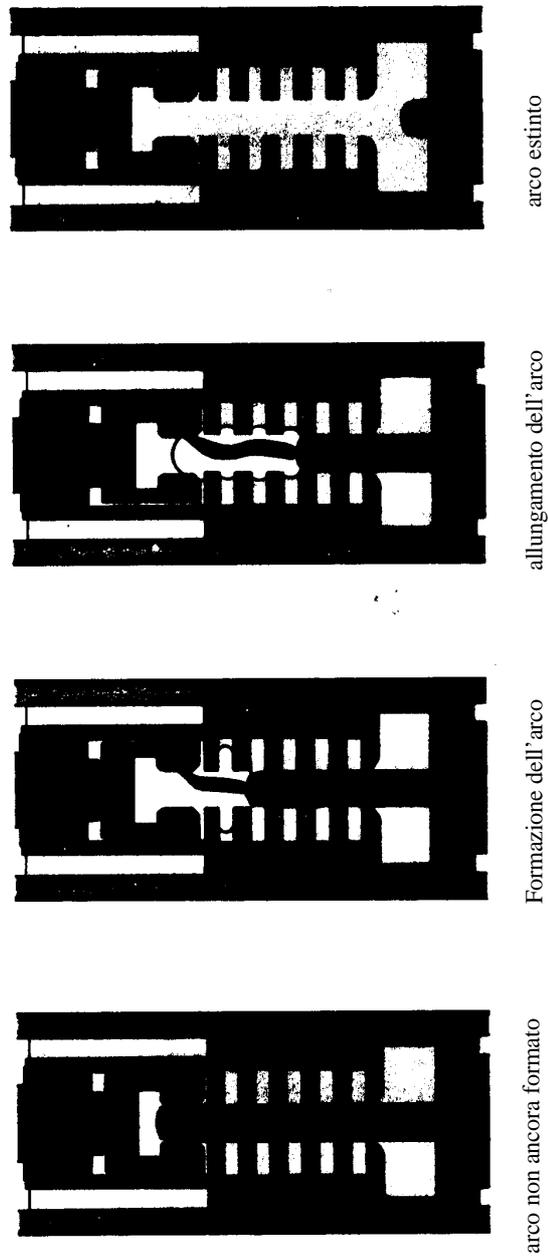


Fig. III.19 - Fasi del processo di interruzione in un interruttore a volume d'olio ridotto dotato di camera di interruzione a soffiaggio assiale.

c) Interruttori in aria compressa

In questi interruttori, in generale, all'atto dell'allontanamento dei contatti, e quindi dello scoccare dell'arco, quest'ultimo viene investito da un getto di aria compressa, che lo allunga e lo raffredda, e che, provvede a sostituire, una volta spento l'arco, l'aria ionizzata con aria non ionizzata in pressione.

Gli interruttori in aria compressa oggi trovano impiego molto raramente, perché sono molto rumorosi - il che ne sconsiglia l'uso nei centri abitati - e costosi, e precisamente solo nei sistemi di seconda e terza categoria quando sono richieste prestazioni molto spinte, ad esempio in climi molto rigidi, anche al disotto di  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ , dove si può sfruttare l'assenza di tendenza alla liquefazione dell'aria compressa.

d) Interruttori in esafluoruro di zolfo

Gli interruttori ad esafluoruro di zolfo ( $\text{SF}_6$ ) furono introdotti circa 40 anni fa e solo negli ultimi 20 anni hanno avuto un grande sviluppo.

L'interruzione nel gas  $\text{SF}_6$  è facilitata dalle seguenti favorevoli caratteristiche di questo gas:

- elevata rigidità dielettrica;
- elevato potere deionizzante;
- elevata conducibilità termica.

Il primo grande pregio dell' $\text{SF}_6$  risiede nell'alto valore della rigidità dielettrica, superiore a quella dell'aria o di altri isolanti gassosi. Questo vantaggio è dovuto alle grandi dimensioni della sua molecola e alla sua capacità di dar luogo a collisioni anelastiche che gli permettono di rallentare efficacemente eventuali elettroni liberi che il campo elettrico tende ad accelerare e che costituiscono, come ben noto, i germi dell'arco.

Alle suddette proprietà collisionali si aggiunge, poi, un'ulteriore proprietà della molecola di  $\text{SF}_6$  che è quella di catturare temporaneamente un elettrone libero per formare uno ione negativo, meno mobile e, quindi, meno capace di dar luogo ad ulteriori ionizzazioni. La suddetta attitudine è conseguenza del carattere fortemente elettronegativo del fluoro e dei suoi composti, i cui atomi sono delle vere e proprie "trappole" per gli elettroni. Questa azione di cattura è particolarmente utile quando l'arco si spegne: la formazione immediata, infatti, di ioni, tra l'altro pesanti e poco mobili, fa sì che si abbia un'accelerazione del processo di deionizzazione e, quindi, una elevatissima velocità di ripristino della rigidità dielettrica.

Durante la presenza dell'arco, infine, entrano in gioco le particolari caratteristiche di conducibilità termica dell' $\text{SF}_6$ , che viene fortemente raffreddato per convezione e, quindi, ad esso viene sottratta una elevata quantità di energia.

Le proprietà evidenziate in precedenza hanno consentito in questi interruttori l'adozione di una pressione di esercizio più bassa di quella degli interruttori ad aria compressa.

Un esempio di interruttore ad SF<sub>6</sub> è riportato nella fig.III.20: quando il contatto mobile si allontana da quello fisso nasce l'arco. Durante la corsa del contatto mobile verso il basso, l'arco si allunga e nel contempo l'SF<sub>6</sub> contenuto all'interno della camera cilindrica V è compresso dal pistone e soffiato verso la zona in cui è scoccato l'arco. Durante l'operazione di apertura il nucleo dell'arco si dilata e ostacola l'efflusso di gas attraverso i contatti (effetto tappo) causando un ulteriore aumento della pressione nel cilindro; tale effetto è proporzionale all'intensità della corrente da interrompere (effetto di autoregolazione della pressione). All'approssimarsi dello zero di corrente, l'effetto tappo scompare e l'esafluoruro di zolfo in pressione defluisce rapidamente verso l'esterno sottraendo energia all'arco.

È evidente che l'effetto tappo, causato dalla dilatazione del gas ad alta temperatura, è molto utile nel caso di interruzioni di forti correnti, perché, bloccando l'uscita del gas, permette di conservarne all'interno della camera una certa quantità e di accrescere, poi, la pressione a monte, favorendo così il "lavaggio" dell'arco stesso quando l'effetto tappo scompare all'approssimarsi dello zero di corrente.

È evidente, altresì, che nel caso in cui la corrente da interrompere non è molto elevata (ad esempio una debole corrente capacitiva), l'effetto tappo non si produce, con conseguente riduzione delle pressioni in gioco e con il grosso vantaggio di evitare nocivi fenomeni di strappamento dell'arco.

Una corretta progettazione dell'interruttore fa sì da sfruttare l'effetto "tappo" positivamente sia per le alte che per le basse correnti.

La curva di ripristino della rigidità dielettrica in tali interruttori, per i motivi citati all'inizio, si qualifica per una ottima risposta nel caso di tensioni di ristabilimento a fronte ripido.

Ulteriori vantaggi dell'SF<sub>6</sub> risiedono nel fatto che mantiene le caratteristiche dielettriche nel tempo e, quindi, richiede pochissima manutenzione; inoltre, ha modeste dimensioni d'ingombro.

A fronte di tutti i succitati vantaggi, l'SF<sub>6</sub> pone qualche problema, e cioè:

- mentre l'SF<sub>6</sub> non è tossico, i prodotti della sua decomposizione sono aggressivi specie quando sono presenti anche minime tracce di umidità;
- a una pressione di 18 atm, l'SF<sub>6</sub> diventa liquido alla temperatura di 14 °C, per cui se l'interruttore funziona a questa pressione e deve essere usato all'aperto, deve essere riscaldato.

Anche negli interruttori ad SF<sub>6</sub>, possono essere presenti più camere di interruzione al crescere della tensione, in modo simile al caso degli interruttori a volume d'olio ridotto.

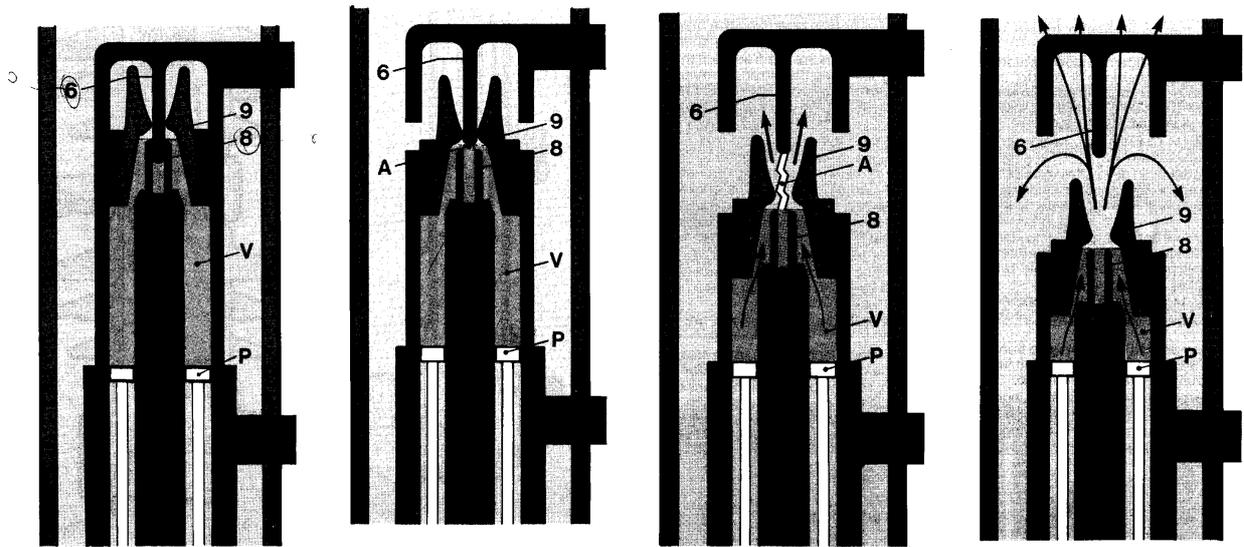


Fig. III.20 - Fasi di apertura di un polo di un interruttore ad esafluoruro di zolfo

Nel campo dei sistemi di terza categoria, infine, l' $\text{SF}_6$ , grazie alle sue eccezionali caratteristiche dielettriche e termiche, ha trovato un vastissimo impiego nel campo delle stazioni blindate: in queste ultime, tutti i componenti della stazione, come si vedrà in dettaglio in una parte successiva del corso, e cioè gli interruttori, le sbarre, i sezionatori, sono racchiusi all'interno di un contenitore metallico connesso a terra. L'isolamento tra le varie parti è garantito da un dielettrico, nel nostro caso l' $\text{SF}_6$ , con il vantaggio di poter ridurre considerevolmente le distanze d'isolamento e, quindi, l'ingombro.

#### e) Interruttori sotto vuoto

Il meccanismo di interruzione nel vuoto è essenzialmente diverso da quello di tutti gli altri tipi di interruttori. In presenza di un dielettrico "materiale", l'arco è, infatti, mantenuto dagli elettroni dello stesso. Il vuoto è, invece, un dielettrico ideale, per cui, idealmente, non dovrebbe nascere alcun arco; le sue eccezionali caratteristiche di rigidità dielettrica, infatti, non sono dovute, ad esempio, alla capacità che ha un gas di dar luogo a collisioni anelastiche che tolgono energia agli elettroni, ma al fatto che nel vuoto di collisioni non ce ne sono teoricamente per nulla e, pertanto, non si può innescare il processo di formazione a valanga degli elettroni che sostengono l'arco. Nella realtà l'arco è presente anche negli interruttori sotto vuoto; esso è sostenuto da vapori metallici emessi dalle superfici dei contatti al momento della loro separazione, a causa del riscaldamento che si genera sulle superfici degli stessi: è proprio, infatti, il vapore metallico ionizzato proveniente dallo strato superficiale dei contatti che costituisce il veicolo di propagazione dell'arco.

Nella fig.III.21 è riportata una tipica realizzazione di una camera di interruzione di un interruttore sotto vuoto.

All'interno della camera, oltre ai soliti contatti, fisso e mobile, è montato uno schermo metallico sul quale, come si vedrà, si depositano i vapori metallici emessi dai contatti.

Quando inizia l'allontanamento dei contatti nel vuoto, il passaggio della corrente attraverso le piccole asperità superficiali degli stessi causa la formazione di vapore metallico, il quale sostiene l'arco che si stabilisce dopo la loro separazione.

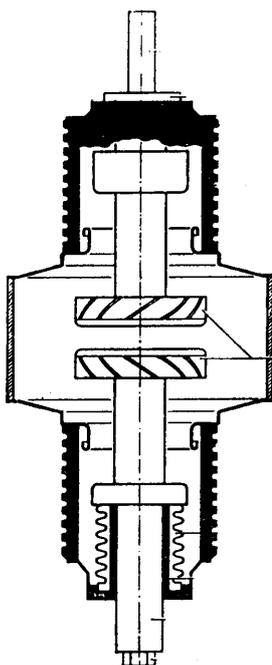


Fig. III.21 - Camera di interruzione di un interruttore sotto vuoto

Quando la corrente passa per lo zero, l'arco si estingue, cessa l'asportazione di particelle metalliche dai contatti e quelle che erano presenti nell'arco si condensano sui contatti e sullo schermo metallico all'uopo predisposto. Il ripristino della rigidità dielettrica ha luogo in pochi  $\mu$ s.

Grazie agli elevati valori di rigidità dielettrica, gli interruttori sotto vuoto hanno ingombri molto ridotti, potendosi ridurre la distanza tra i contatti a interruttore aperto.

Le eccezionali caratteristiche di ripristino di questi interruttori fanno, quindi, sì che essi presentino un comportamento veramente buono in caso di tensioni di ristabilimento a fronte ripido; meno buono è, invece, il comportamento in caso di piccole correnti, in quanto in questi casi si può avere una ridotta produzione di vapori metallici e, quindi, uno strappamento dell'arco con conseguenti sovratensioni.

Gli interruttori sotto vuoto hanno fatto la loro prima comparsa nel campo dei sistemi di seconda categoria e qui hanno trovato le loro principali applicazioni, inizialmente limitate dai maggiori costi.

## 4.2 Sezionatori

Il sezionatore, il cui simbolo grafico C.E.I. è riportato nella fig.III.22, è un apparecchio di manovra capace di:

- interrompere e stabilire una corrente in un circuito sano, ma di entità trascurabile;
- portare correnti in un circuito sano e, per una durata determinata, in un circuito guasto.



Fig. III.22 - Simbolo grafico C.E.I. del sezionatore

Per quanto riguarda le correnti che il sezionatore è in grado di interrompere o stabilire, esse devono essere di modesta entità, ad esempio quelle capacitive di isolatori, sbarre o cavi di breve lunghezza. Per questo motivo, l'intervento di un sezionatore è preceduto o seguito, rispettivamente, dall'intervento di un altro apparecchio di manovra, tipicamente un interruttore, in grado di rendere di modesta entità l'intensità della corrente che il sezionatore è chiamato ad interrompere o stabilire. Quindi:

- l'apertura di un sezionatore è preceduta dall'apertura di un interruttore;
- la chiusura di un sezionatore è seguita dalla chiusura di un interruttore.

Il sezionatore, così come l'interruttore, è caratterizzato da due posizioni stabili di funzionamento (sezionatore chiuso e sezionatore aperto).

Il principale motivo che giustifica la presenza dei sezionatori nei sistemi elettrici è legato al fatto che ogni volta che su un componente elettrico devono eseguirsi operazioni di sostituzione o riparazione o manutenzione è necessario avere, per ovvii motivi di sicurezza, la certezza che il componente su cui l'operatore interviene sia isolato elettricamente dalla parte rimanente del sistema elettrico. Questa certezza si ottiene con i sezionatori, in quanto essi, in posizione di aperto, soddisfano le prescrizioni specificate dalle norme per la cosiddetta funzione di sezionamento.

Gli apparecchi di manovra che soddisfano le prescrizioni specificate per la funzione di sezionamento, infatti:

- devono assicurare, nella posizione di aperto, adeguate distanze di isolamento in aria e superficiali;
- devono essere tali da poter verificare la loro posizione di aperto in modo visibile o mediante un dispositivo indicatore affidabile.

Per quanto riguarda le distanze di isolamento, esse garantiscono che una eventuale sovratensione che si presenta nel sistema elettrico quando il sezionatore è in posizione di aperto non dia luogo ad una scarica tra i poli dello stesso.

Per quanto riguarda la verifica della posizione di aperto, essa garantisce la certezza che il componente su cui interviene l'operatore sia effettivamente isolato dalla parte restante del sistema elettrico.

Esiste una ulteriore prescrizione delle norme che impone l'impiego di un particolare tipo di sezionatore allorché un operatore interviene su di una linea elettrica; tale prescrizione recita che in tali casi la linea deve essere collegata a terra, sempre per motivi di sicurezza, affinché non vi siano su di essa tensioni dovute a cariche residue o indotte. Per ottemperare alla suddetta prescrizione vengono impiegati i sezionatori di terra, che sono interbloccati con quelli messi in serie alla linea, onde impedire false manovre.

La fig.III.23 mostra le posizioni di aperto e chiuso di due coppie di sezionatori

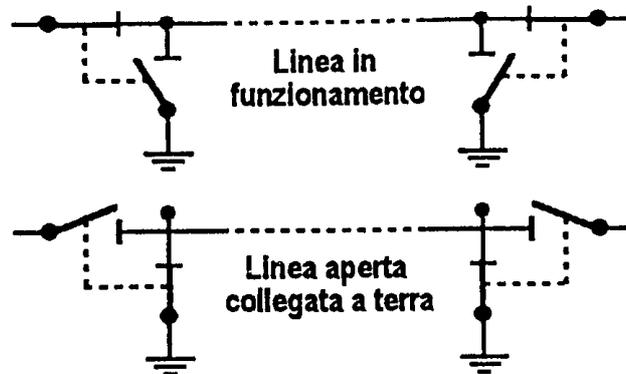


Fig. III.23 - Sezionatori di terra.

posti alle estremità di una generica linea, nel caso di linea in funzionamento e nel caso di intervento sulla stessa.

Un ultimo campo di impiego dei sezionatori riguarda il caso in cui si vogliano modificare schemi di impianto al fine di ottemperare a diverse esigenze di servizio.

#### 4.2.1 Classificazione e descrizione

I sezionatori possono essere classificati, a seconda delle loro caratteristiche costruttive, in:

- sezionatori a coltelli;
- sezionatori a rotazione;
- sezionatori a pantografo;
- sezionatori a ginocchio.

I sezionatori a coltelli trovano applicazione nei sistemi di prima, seconda e terza categoria, quelli a rotazione nei sistemi di seconda e terza categoria, quelli a pantografo e a ginocchio nei sistemi di terza categoria.

a) Sezionatori a coltelli

Nella fig.III.24 è riportato un esempio di sezionatore a coltelli per sistemi di prima e seconda categoria. Tale sezionatore è costituito dalla lama 6 (coltello), incernierata nel punto 4, che può ruotare di un angolo sufficiente a garantire la distanza di isolamento; la lama è collegata al circuito esterno 3 attraverso la cerniera 4 ed il contatto metallico 5, con il tutto sostenuto dagli isolatori 2. Il coltello può essere manovrato con comando diretto o rinviato; quest'ultima soluzione si impiega quando l'organo che comanda l'apertura del sezionatore non è posto in prossimità, ma ad una certa distanza dal sezionatore stesso. In questi sezionatori, al crescere della corrente nominale, si impiegano più lame in parallelo.

Si fa notare che il sezionatore è montato in modo tale che la cerniera 4 risulti, a sezionatore aperto, dal lato non in tensione.

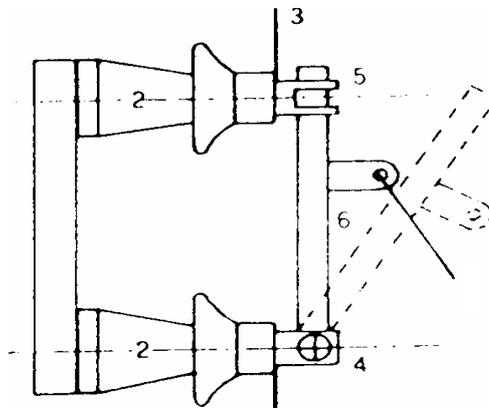


Fig. III.24 - Sezionatore a coltelli per sistemi di prima e seconda categoria.

In alcuni casi i sezionatore a coltelli trovano impiego anche nei sistemi di terza categoria. In questi sezionatori, per ogni fase, sono presenti due colonne isolanti portanti, una colonnina di manovra ed un coltello che, in fase di intervento, subisce un movimento di rotazione verso l'alto.

b) Sezionatori a rotazione

I sezionatori a rotazione possono essere a due o tre colonne.

Nei sezionatori a due colonne (fig.III.25) ognuna delle colonne è dotata di movimento di rotazione su un asse verticale e porta in sommità un semicoltello. La continuità elettrica in posizione di chiuso si ha incernierando tra loro le due estremità dei semicoltelli. Questi sezionatori sono detti a semplice interruzione, in quanto con essi si interrompe il circuito elettrico in cui sono inseriti in un sol punto.



Fig. III.25 - Sezionatore a rotazione a due colonne.

Nei sezionatori a tre colonne (fig.III.26) sono presenti due colonne fisse di estremità ed una terza centrale che sostiene e fa ruotare un unico coltello secondo un movimento che si svolge in un piano orizzontale. La continuità elettrica in posizione di chiuso si ha incernierando le due estremità del coltello su appositi contatti disposti sulle due colonne fisse.

Questi sezionatori sono detti a doppia interruzione, in quanto con essi si interrompe il circuito elettrico in cui sono inseriti in due punti.

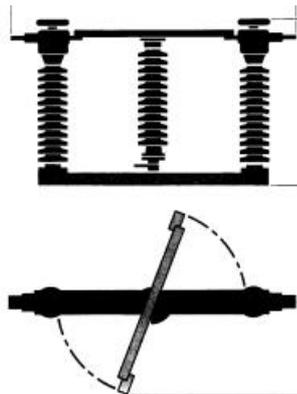


Fig. III.26 - Sezionatore a rotazione a tre colonne.

#### d) Sezionatori a pantografo e a ginocchio

I sezionatori a pantografo presentano un sezionamento verticale e consentono ingombri ridotti. Quelli a ginocchio sono del tutto simili a quelli a pantografo con la sola differenza che il movimento di apertura/chiusura è orizzontale e non verticale. Questo tipo di sezionatori è impiegato solo nei sistemi di III categoria.

### 4.3 Interruttori di manovra e interruttori di manovra-sezionatori

Gli interruttori di manovra, il cui simbolo grafico C.E.I. è riportato nella fig.III.27, sono apparecchi di manovra capaci di:

- interrompere correnti in un circuito sano, incluse, quindi, specificate condizioni di sovraccarico;
- stabilire correnti in un circuito sano o guasto;
- portare correnti in un circuito sano e, per una durata determinata, in un circuito guasto.

Dalla suindicata definizione appare chiaro che gli interruttori di manovra svolgono tutte le funzioni degli interruttori tranne quella di interrompere correnti di cortocircuito.



Fig. III.27 - Simbolo grafico C.E.I. dell'interruttore di manovra.

Gli interruttori di manovra-sezionatori, il cui simbolo grafico C.E.I. è riportato nella fig.III.28, svolgono le stesse funzioni degli interruttori di manovra ed in più, nella posizione di aperto, soddisfano le prescrizioni specificate per la funzione di sezionamento. Questi apparecchi, nel gergo usuale, sono chiamati “sezionatori sottocarico”.



Fig. III.28 - Simbolo grafico C.E.I. dell'interruttore di manovra-sezionatore.

L'interruttore di manovra-sezionatore, così come l'interruttore di manovra, è caratterizzato da due posizioni stabili di funzionamento (interruttore di manovra-sezionatore chiuso e interruttore di manovra-sezionatore aperto).

Per questi apparecchi è possibile definire dei valori limite di corrente che sono in grado di interrompere in un circuito sano e di stabilire in un circuito guasto. In particolare, vengono introdotti nelle norme, in modo analogo a quanto fatto per gli interruttori, sia un potere di interruzione che un potere di chiusura: per il potere di interruzione, non essendo questi apparecchi in grado di interrompere correnti di cortocircuito, si fa riferimento al valore efficace della più elevata componente simmetrica della corrente in un circuito sano che essi sono in grado di interrompere; per il potere di chiusura vale la stessa definizione data per gli interruttori.

Gli interruttori di manovra-sezionatori vengono impiegati principalmente per aprire un circuito con correnti che interessano:

- carichi prevalentemente attivi;
- circuiti ad anello;
- trasformatori a vuoto;
- condensatori;
- cavi a vuoto e linee aeree di lunghezza limitata;
- motori.

#### 4.3.1 Classificazione e descrizione

Gli interruttori di manovra-sezionatori si classificano in base al mezzo impiegato per l'estinzione dell'arco. Si hanno, infatti :

- interruttori di manovra-sezionatori in aria a pressione atmosferica;
- interruttori di manovra-sezionatori autopneumatici;
- interruttori di manovra-sezionatori ad autotrasformazione di gas;
- interruttori di manovra-sezionatori in esafluoruro di zolfo ( $SF_6$ ).

##### a) Interruttori di manovra-sezionatori in aria a pressione atmosferica

In questo tipo l'interruzione dell'arco è ottenuta sfruttando tutti gli accorgimenti che portano ad un allungamento e raffreddamento dell'arco (contatti a corna, soffio magnetico, etc.). Nella fig.III.29 ne è riportato un esempio che, per la sua configurazione, è detto "a corna" e che viene impiegato in Italia nelle linee elettriche presenti nei sistemi di seconda categoria. Questi apparecchi sono dotati di due terne di isolatori che sono di ammarro per la linea che si vuole sezionare; esiste, poi, una terza terna di isolatori, quella centrale, la cui rotazione determina l'apertura o chiusura dell'apparecchio: quando, infatti, la terna centrale è ruotata verso sinistra l'interruttore di manovra-sezionatore è in posizione di chiuso, mentre quando essa è ruotata verso destra l'interruttore di manovra-sezionatore è in posizione di aperto.

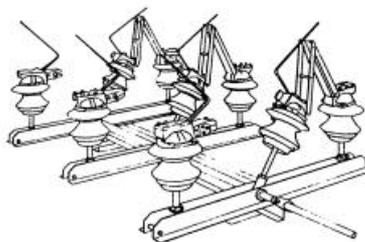


Fig. III.29 - Interruttore di manovra-sezionatore in aria a pressione atmosferica

##### b) Interruttori di manovra-sezionatori ad autotrasformazione di gas

Negli interruttori di manovra-sezionatori ad autotrasformazione di gas, di cui la fig.III.30 riporta un esempio, l'estinzione dell'arco avviene entro camere di materiale speciale che, a contatto dell'arco, emettono un gas che deionizza l'arco stesso.

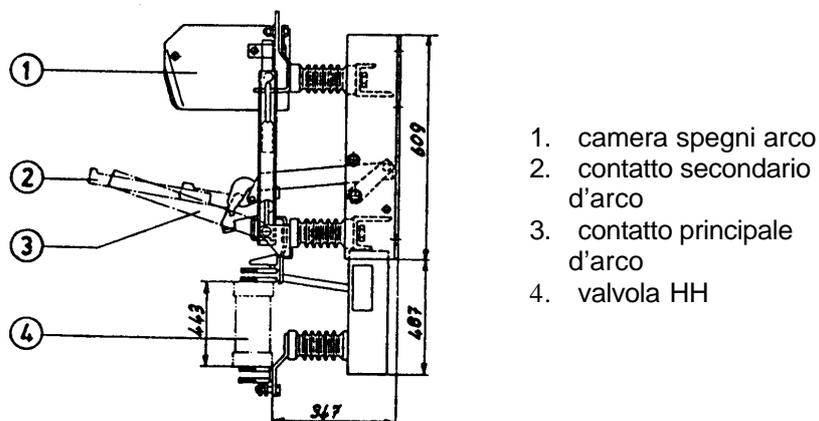


Fig. III.30 - Interruttore di manovra-sezionatore ad autotrasformazione di gas

#### c) Interruttori di manovra-sezionatori autopneumatici

Negli interruttori di manovra-sezionatori autopneumatici all'atto dell'allontanamento del contatto mobile da quello fisso scocca l'arco, che viene investito da un soffio d'aria compressa che defluisce violentemente lungo lo stesso investendolo assialmente, allungandolo e raffreddandolo. L'aria compressa viene ottenuta da un pistone che si aziona all'atto dell'apertura dell'apparecchio.

#### d) Interruttori di manovra-sezionatori in SF<sub>6</sub>.

Negli interruttori di manovra-sezionatori in SF<sub>6</sub> viene impiegato quale mezzo di estinzione dell'arco e di isolamento tra le parti a differente tensione l'SF<sub>6</sub>. Per i motivi già evidenziati nel caso degli analoghi interruttori, con tali apparecchi si realizzano soluzioni estremamente compatte.

### 4.4 Contattori

I contattori, il cui simbolo grafico C.E.I. è riportato nella fig.III.31, sono apparecchi di manovra capaci di interrompere, stabilire e portare correnti in condizioni normali del circuito elettrico, incluse, quindi, specificate condizioni di sovraccarico.



Fig. III.31. Simbolo grafico C.E.I. del contattore

Mentre tutti gli apparecchi di manovra finora considerati sono caratterizzati da due posizioni di riposo (aperto e chiuso) e passano dall'una all'altra posizione con un comando manuale o non manuale, i contattori hanno una sola posizione di riposo, generalmente quella di aperto, e passano nell'altra posizione solo grazie ad una azione di comando non manuale, mantenuta da una sorgente di energia ausiliaria .

Per i contattori è possibile definire solo dei valori limite di corrente che sono in grado di interrompere e di stabilire in un circuito sano. In particolare, vengono introdotti nelle norme sia un potere di interruzione che un potere di chiusura: non essendo i contattori in grado di interrompere o stabilire correnti di cortocircuito, per le suddette grandezze si fa riferimento al valore efficace della più elevata corrente in un circuito sano che essi sono in grado di interrompere o stabilire.

I contattori, il cui impiego nelle reti di distribuzione pubblica è molto limitato, vengono impiegati prevalentemente per il comando di dispositivi utilizzatori dell'energia elettrica, inoltre, possono essere facilmente telecomandati, il che li rende molto utili nel comando a distanza, ad esempio:

- motori;
- condensatori;
- reostati;
- lampade.

I contattori sono apparecchi di manovra in grado di compiere un numero elevatissimo di manovre senza che si abbia eccessiva usura dei contatti; per questo motivo, tra l'altro, sono spesso associati agli interruttori per evitare che questi vengano impiegati per frequenti aperture di correnti in condizioni normali del circuito.

#### *4.4.1 Classificazione e descrizione*

I contattori usualmente vengono classificati in due modi:

- in base alla categoria di utilizzazione;
- in base alle caratteristiche costruttive.

Il primo tipo di classificazione fa riferimento alle tipiche applicazioni cui i contattori sono destinati. Ad esempio, nel caso di contattori per sistemi di prima categoria le norme suggeriscono una classificazione, in parte riportata nella tab.III.2.

Tab. III.2 - Alcune categorie di utilizzazione dei contattori per sistemi di prima categoria

Natura della corrente	Categoria di Utilizzazione	Applicazioni tipiche
Corrente alternata	AC-1	Carichi non induttivi o debolmente induttivi, forni a resistenza
	AC-2	Motori ad anello: avviamento, arresto
	AC-3	<i>Motori a gabbia: avviamento, arresto del motore durante la marcia</i>
	AC-4	Motori a gabbia: avviamento, frenatura in controcorrente, manovra a impulsi
	.	
Corrente continua	DC-1	Carichi non induttivi o debolmente induttivi, forni a resistenza
	DC-2	<i>Motori in derivazione: avviamento, frenatura in controcorrente, manovre ad impulsi. Frenatura dinamica di motori in corrente continua.</i>
	.	
	.	

È importante osservare che le Norme associano a ciascuna categoria di utilizzazione ben precisi valori dei poteri di interruzione e di chiusura, con la conseguenza che non è necessario nei contattori indicare esplicitamente tali grandezze, ma basta indicare la categoria di utilizzazione cui sono destinati.

La classificazione dei contattori in base alle caratteristiche costruttive, cui si farà riferimento nel seguito, li distingue in:

- contattori elettromagnetici;
- contattori pneumatici;
- contattori elettropneumatici;
- contattori sotto vuoto;
- contattori a semiconduttori.

#### a) Contattori elettromagnetici

Nei contattori elettromagnetici, di cui la fig.III.32 è un esempio, la forza per la chiusura dei contatti normalmente aperti è fornita da un elettromagnete, costituito da un nucleo fisso 1, da una ancora mobile 3 e da una bobina 2. Quando la bobina non è

percorsa da corrente, l'ancora mobile è spostata verso destra e la molla di rimando 7 tiene il contatto mobile 4 lontano da quello fisso 5: il contattore è in posizione di aperto.

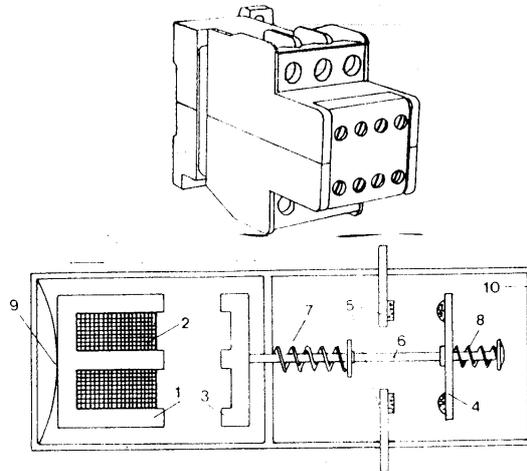


Fig. III.32 - Contattore elettromagnetico

Quando la bobina è percorsa da corrente si ha lo spostamento per attrazione dell'ancora mobile 3 verso sinistra, con la conseguente chiusura del contatto mobile su quello fisso: il contattore passa in posizione di chiuso e permane in tale posizione fino a quando la bobina è percorsa da corrente.

#### b) Contattori pneumatici

Nei contattori pneumatici la forza per la chiusura dei contatti normalmente aperti o per l'apertura di quelli normalmente chiusi è fornita da un dispositivo che utilizza aria compressa, senza l'impiego di dispositivi elettrici.

#### c) Contattori elettropneumatici

Nei contattori elettropneumatici la forza per la chiusura dei contatti normalmente aperti o per l'apertura di quelli normalmente chiusi è fornita da un dispositivo che utilizza aria compressa e che è comandato da valvole azionate elettricamente.

#### d) Contattori sotto vuoto.

Nei contattori sotto vuoto, di cui la fig.III.33 è un esempio, i contatti principali aprono e chiudono entro un involucro sotto vuoto. In questi contattori la forza per la chiusura dei contatti normalmente aperti o per l'apertura di quelli normalmente chiusi è fornita da un elettromagnete.

I contattori sotto vuoto, così come gli analoghi interruttori, trovano impiego nei sistemi di seconda categoria.

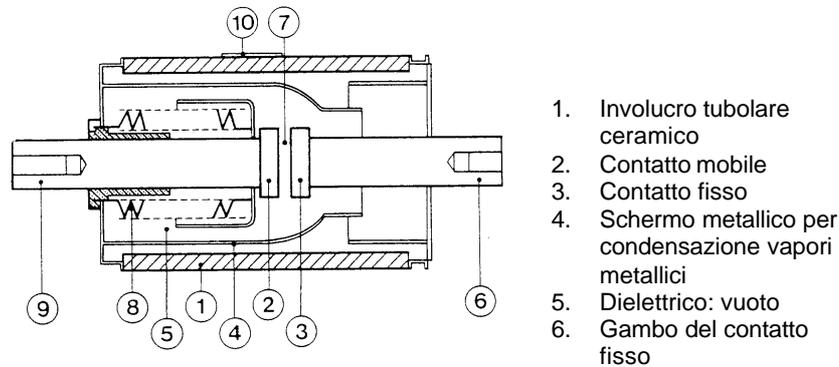


Fig. III.33 - Contattore sotto vuoto

e) Contattori a semiconduttori.

Questi contattori, di cui la fig.III.34 è un esempio, impiegano componenti a semiconduttore per interrompere o stabilire corrente.

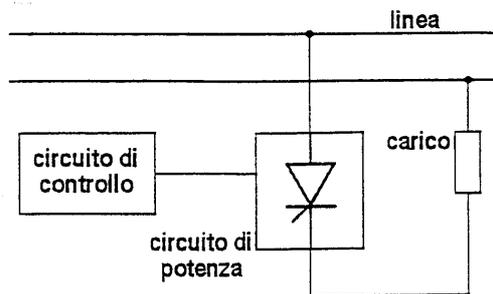


Fig. III.34 - Contattore a semiconduttori

Nel contattore della fig.III.34 sono presenti due tiristori in antiparallelo che connettono o sconnettono il carico dalla linea; in particolare, il circuito di controllo comanda l'accensione o meno della coppia di tiristori del circuito di potenza a seconda che si voglia o meno collegare il carico alla linea.

#### 4.5 Fusibili

Il fusibile, il cui simbolo grafico C.E.I. è riportato nella fig.III.35, è in grado di interrompere le correnti di sovraccarico e di cortocircuito. È un apparecchio che, mediante la fusione di una sua parte, interrompe *automaticamente* la corrente nel circuito in cui è inserito quando questa supera un determinato valore per una durata sufficiente.



Fig. III.35 - Simbolo grafico C.E.I. di un fusibile

Il fusibile presenta caratteristiche costruttive e un principio di funzionamento completamente diversi da quelli degli altri apparecchi di manovra. In esso, infatti, non sono presenti i contatti, fisso e mobile, che allontanandosi determinano l'interruzione della corrente; è, invece, presente una "parte sottile" (fig.III.36), detta elemento fusibile, che è costituita da uno o più conduttori a forma di filo o di nastro, e che, fondendo, determina, secondo un meccanismo che si analizzerà in dettaglio nel seguito, l'interruzione della corrente. È evidente che, affinché l'elemento fusibile fonda è necessario che entri in gioco una opportuna quantità di energia termica; questo è il motivo per cui, nella definizione di fusibile precedentemente data, compare esplicitamente il fatto che la corrente che percorre il circuito può essere interrotta solo se supera un determinato valore per una durata sufficiente.

Poiché l'intervento del fusibile è legato alla fusione di una sua parte (l'elemento fusibile) e poiché il processo di fusione è irreversibile, ne consegue che il fusibile, una volta intervenuto, va sostituito: questo è il suo principale inconveniente.

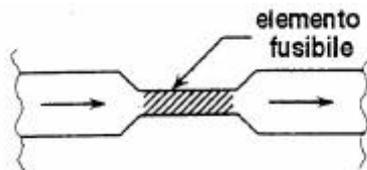


Fig. III.36 - Rappresentazione schematica dell'elemento fusibile

Nel seguito, prima di classificare e descrivere i fusibili, verranno esaminati:

- il principio di funzionamento;
- le curve caratteristiche di funzionamento.

È necessario studiare il principio di funzionamento dei fusibili poiché, per quanto evidenziato in precedenza, esso si discosta sostanzialmente da quello degli altri apparecchi di manovra; lo studio, poi, delle curve caratteristiche è indispensabile al progettista, in quanto esse forniscono informazioni indispensabili quando si vuole inserire un fusibile in un impianto elettrico.

#### 4.5.1 Principio di funzionamento

Per comprendere il principio di funzionamento di un fusibile si faccia riferimento, a titolo di esempio e per chiarezza di esposizione, alla fig.III.37 in cui è rappresentato schematicamente un particolare tipo di fusibile, detto a cartuccia; si farà riferimento a questo tipo di fusibile in quanto è quello di gran lunga più diffuso e,

comunque, il suo studio consente di porre in evidenza i principali fenomeni che interessano il funzionamento di tutti i fusibili.

Nel fusibile a cartuccia, l'elemento fusibile - che è una sottile lama di argento o rame dotata, in genere, di strozzature - è circondato da materiale di spegnimento granuloso (in genere silicio); il tutto è incorporato in un involucro di ceramica chiuso all'estremità da due contatti metallici, destinati alla connessione elettrica del fusibile al circuito esterno.

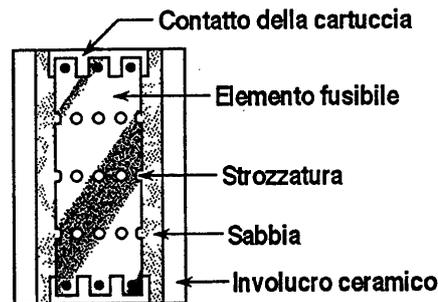


Fig. III.37 - Fusibile a cartuccia

Quando il fusibile è percorso da una corrente superiore ad un valore prefissato per una durata sufficiente, la temperatura in alcune parti dell'elemento fusibile (fig.III.37), nel caso in esame in corrispondenza delle sue strozzature, cresce fino a raggiungere la temperatura di fusione, con la conseguenza che l'elemento fusibile inizia a fondere e, poi, a evaporare secondo un processo che è chiaramente irreversibile. Il periodo che va dall'inizio della sovracorrente all'istante in cui cominciano a scoccare i primi archi (AN nella fig.III.38 a), prende il nome di fase di pre-arco.

Successivamente, con il progredire della fusione e della evaporazione all'intero elemento fusibile, si ha la nascita di un unico arco generalizzato a tutto l'elemento (AG nella fig.III.38 b). Il periodo che va dall'istante in cui scocca il primo arco all'estinzione definitiva dell'arco generalizzato, prende il nome di fase d'arco. In questa fase assume un ruolo fondamentale la sabbia che circonda l'elemento fusibile, in quanto essa assorbe la maggior parte dell'energia termica prodotta dall'arco e lo fraziona, provocandone rapidamente lo spegnimento.

Una volta estinto l'arco, circola nel fusibile, attraverso la massa di sabbia fusa e di residui metallici dell'elemento fusibile, una debole corrente di conduzione che, dopo pochi istanti, cessa di circolare. Il periodo interessato da tale fenomeno è detto fase di post-arco.

In conclusione, le varie fasi che interessano il funzionamento di un fusibile, che saranno esaminate più in dettaglio nel seguito, sono:

- fase di pre-arco;
- fase d'arco;
- fase di post-arco.

La fase di pre-arco ha una durata detta, appunto, di pre-arco, quella d'arco ha una durata detta d'arco; la somma delle durate di pre-arco e d'arco è detta durata di funzionamento o di interruzione.

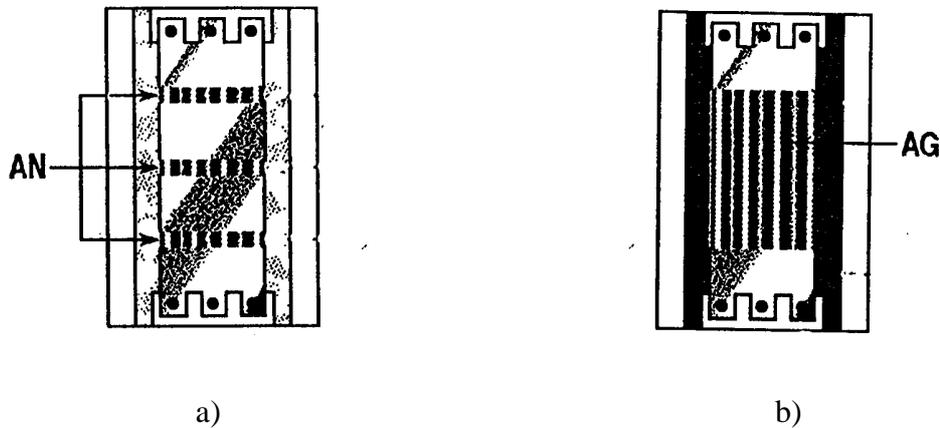


Fig. III.38 - Varie fasi di funzionamento di un fusibile a cartuccia

a) *Fase di pre-arco*

Durante la fase di pre-arco, si ha in successione:

- il riscaldamento dell'elemento fusibile e delle sue strozzature fino a raggiungere la temperatura di fusione;
- la fusione;
- il riscaldamento fino a raggiungere la temperatura di evaporazione;
- l'evaporazione.

In questa fase la caduta di tensione ai capi del fusibile si mantiene molto bassa e l'andamento nel tempo della corrente non subisce modifiche per la presenza del fusibile.

Quando l'intensità della sovracorrente non è molto elevata, il suindicato processo non si può considerare adiabatico e l'elemento fusibile trasmette calore per conduzione, longitudinalmente verso i conduttori propriamente detti cui il fusibile è posto in serie e trasversalmente verso il mezzo in cui l'elemento fusibile è immerso. In questi casi la durata di pre-arco è significativa ed è tanto più elevata quanto minore è il valore della sovracorrente che interessa il fusibile.

Quando, invece, la sovracorrente comincia a diventare sufficientemente elevata il fenomeno si svolge in un intervallo di tempo tanto breve da poter considerare trascurabile la quantità di calore trasmessa ai conduttori o al mezzo circostante e si ha, quindi, un riscaldamento adiabatico dell'intero elemento fusibile. In tali condizioni si dimostra che l'integrale:

$$W_p = \int_0^{t_p} i^2 dt = K^2 S^2 \quad (\text{III.9})$$

non dipende dall'andamento nel tempo della corrente di cortocircuito, ma è una costante peculiare del fusibile; al coefficiente  $K^2$  si dà, impropriamente, il nome di costante di fusione.

*b) Fase d'arco*

La fase d'arco ha inizio, come già detto, nell'istante in cui compare il primo arco elettrico ed ha fine allorquando l'arco generalizzato si estingue. In questa fase è presente ai capi del fusibile la tensione d'arco, che svolge una chiara azione limitatrice della corrente.

L'azione limitatrice della corrente di corto circuito da parte della tensione d'arco è particolarmente utile nel caso di interruzione di correnti di cortocircuito. Se, infatti, la tensione d'arco assume valori sufficientemente elevati (maggiori del valore massimo della tensione di alimentazione), essa impedisce, in modo del tutto analogo a quanto accade negli interruttori limitatori, che la corrente di cortocircuito raggiunga il valore massimo della corrente di cortocircuito presunta (fig.III.39).

Nella fig. III.39 si è indicato con  $t_a$  la durata d'arco e con  $t_t$  la durata di interruzione; gli altri simboli hanno lo stesso significato di quelli adottati nella fig.III.11 per il caso degli interruttori limitatori.

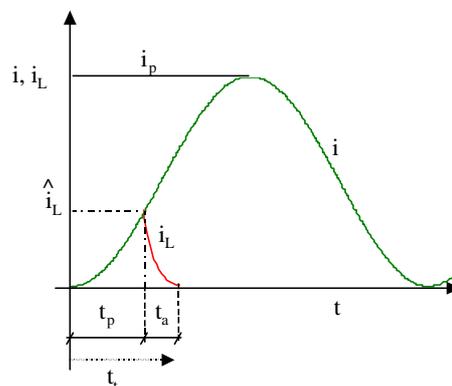


Fig. III.39 - Effetto limitatore della corrente di cortocircuito da parte di un fusibile

È interessante osservare sin d'ora che nel caso di sovracorrenti di elevato valore la durata di pre-arco e la durata d'arco sono dello stesso ordine di grandezza. Nel caso, invece, di interruzione di sovracorrenti di valore non elevato, poichè la durata di pre-arco assume valori decisamente più elevati mentre quella d'arco rimane dell'ordine della decina di ms, si ha che la durata di pre-arco è notevolmente più grande di quella d'arco.

Nella fase d'arco riveste un ruolo fondamentale la sabbia che circonda l'elemento fusibile. Essa, infatti:

- assorbe la maggior parte dell'energia termica prodotta dall'arco durante l'interruzione e lo fraziona fortemente, contribuendo così in modo determinante alla sua estinzione;
- forma uno schermo, nei riguardi dell'involucro della cartuccia, limitando effetti termici e meccanici dell'arco;

- costituisce, grazie alla sua porosità, un mezzo di dispersione controllata del metallo vaporizzato dell'elemento fusibile, il che facilita la perdita di continuità elettrica del canale liquido che si crea a seguito della fusione dell'elemento fusibile.

c) *Fase di post-arco*

Una volta estinto l'arco, è presente nel fusibile una miscela di sabbia fusa mescolata a vapore metallico, che ha una proprietà particolarmente utile nella fase di post-arco: essa possiede una conducibilità a caldo non trascurabile, il che permette di far circolare attraverso il fusibile, una volta che si è estinto l'arco, una debole corrente di conduzione. Questa corrente residua è giovevole, in quanto, nei primi istanti successivi allo spegnimento dell'arco, limita la tensione di ristabilimento che compare ai capi del fusibile.

La stessa miscela ha un'ulteriore proprietà fondamentale utile nella fase immediatamente successiva a quella di circolazione della piccola corrente di conduzione. Essa, infatti, ha un elevato valore di resistenza a freddo (di svariati ordini di grandezza superiore del valore a caldo), per cui quando la miscela si raffredda, la debole corrente di conduzione si annulla immediatamente e termina, quindi, in maniera definitiva il processo di interruzione del fusibile.

#### 4.5.2 *Curve caratteristiche di funzionamento*

Nel caso dei fusibili, le grandezze che si è interessati a conoscere sono:

- le durate, o più semplicemente i tempi, di pre-arco  $t_p$  e di funzionamento  $t_t=t_p+t_a$ ;
- il valore di picco della corrente limitata  $\hat{I}_L$ ;
- gli integrali di Joule, detti nel gergo usuale sinteticamente " $I^2t$ ", nella fase di pre-arco e nell'intero periodo di funzionamento:

$$W_p = \int_0^{t_p} i^2 dt \qquad W_t = \int_0^{t_t} i^2 dt .$$

È solo il caso di osservare che tra le varie grandezze di interesse citate mancano il tempo d'arco e l'integrale di Joule relativo alla fase d'arco, in quanto esse possono ricavarsi, per differenza, una volta noti, rispettivamente, i tempi di pre-arco e di funzionamento nonché gli integrali corrispondenti.

A ciascuna delle grandezze da prendere in considerazione viene associata una diversa curva caratteristica del fusibile fornita dal costruttore; in particolare, queste curve caratteristiche prendono il nome di:

- caratteristiche tempo/corrente, se relative ai tempi di pre-arco ed ai tempi di funzionamento;
- caratteristica di limitazione, se relativa al valore di picco della corrente limitata;
- caratteristiche  $I^2t$ , se relative agli integrali di Joule di pre-arco e di funzionamento.

Le suddette caratteristiche riportano l'andamento delle varie grandezze citate in precedenza in funzione del valore efficace  $I_{cp}$  della componente simmetrica della corrente di cortocircuito presunta. I motivi per i quali si fa riferimento alla corrente di

cortocircuito presunta sono gli stessi per cui essa è stata introdotta nella definizione del potere di apertura e di chiusura degli interruttori.

a) *Caratteristiche tempo/corrente*

La fig.III.40 mostra gli andamenti dei tempi di pre-arco  $t_p$  e di funzionamento  $t_t=t_p+t_a$  in funzione del rapporto:

$$\alpha = \frac{I_{cp}}{I_n} \quad (III.10)$$

essendo  $I_n$  la corrente nominale del fusibile.

È interessante notare dalla fig.III.40 che, per valori di  $\alpha$  non molto alti, a cui corrispondono sovracorrenti di intensità limitata, le due caratteristiche coincidono: in questa zona, infatti, i tempi di pre-arco  $t_p$ , per quanto detto in precedenza, sono molto lunghi mentre quelli d'arco sono bassi (al più una decina di ms), per cui

$$t_t = t_p + t_a \cong t_p \quad (III.11)$$

Al crescere di  $\alpha$ , e quindi al crescere della sovracorrente, le due caratteristiche si separano fino a che, per valori elevati di  $\alpha$ , il tempo di pre-arco diventa molto piccolo e dello stesso ordine di grandezza del tempo d'arco; in questa zona, che si vedrà in futuro essere fondamentale per lo studio della selettività, è molto importante tenere i due tempi ben separati tra loro.

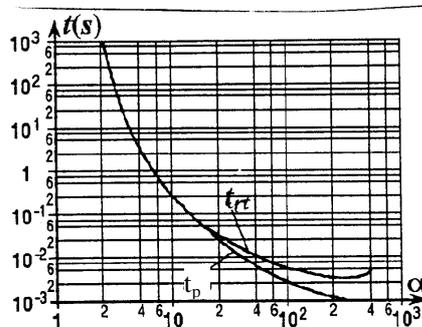


Fig. III.40 - Curve caratteristiche dei tempi di pre-arco e di funzionamento

b) *Caratteristica di limitazione*

La caratteristica di limitazione di un fusibile riporta il valore di picco della corrente limitata  $\hat{i}_L$  in funzione di  $I_{cp}$  o di  $\alpha$ . Nella fig.III.41 è riportata tale caratteristica per un fusibile per sistemi di prima categoria, per differenti valori della corrente nominale.

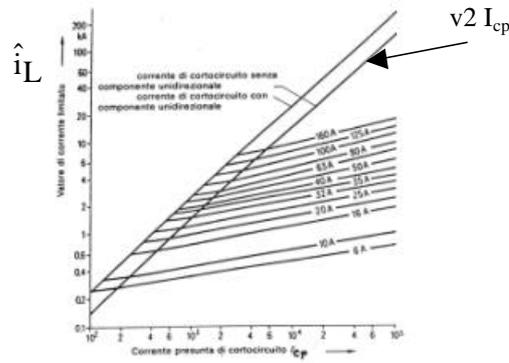


Fig. III.41 - Caratteristica di limitazione di un fusibile per sistemi di prima categoria, per differenti valori della corrente nominale.

Si noti che le due rette della fig.III.41 permettono di ricavare i valori di picco della corrente di cortocircuito non limitata, in presenza ed in assenza della componente unidirezionale.

c) Caratteristiche  $I^2t$

Le caratteristiche  $I^2t$  possono essere riferite, come già detto, alla fase di pre-arco e a quella di interruzione.

Nel primo caso (fig.III.42), la caratteristica si presenta, al crescere della corrente di cortocircuito presunta, praticamente costante per i motivi più volte evidenziate; al decrescere della corrente, non essendo il fenomeno adiabatico, assume valori crescenti per effetto degli scambi di calore tra l'elemento fusibile e tutto ciò che lo circonda.

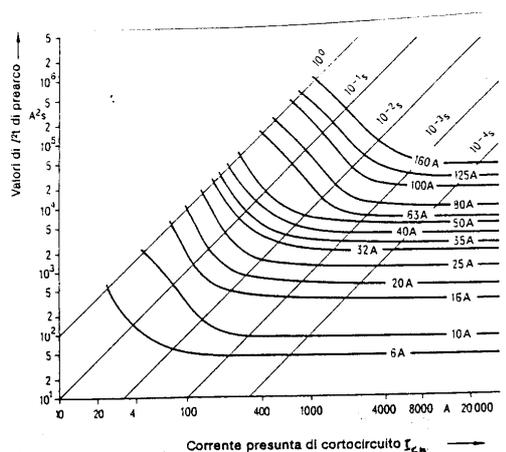


Fig. III.42 - Caratteristica  $I^2t$  di pre-arco in funzione del valore efficace della componente simmetrica della corrente di cortocircuito presunta, per differenti valori della corrente nominale

Nel caso dell'integrale di Joule di funzionamento, il suo andamento è variabile a seconda del tipo di fusibile; nella fig.III.43 è riportato il suo andamento nel caso di fusibili speciali.

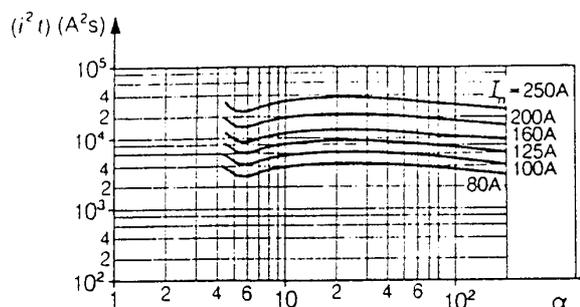


Fig. III.43 - Caratteristica  $I^2t$  di funzionamento in funzione del valore efficace della componente simmetrica della corrente presunta, per differenti valori della corrente nominale

#### 4.5.3 Classificazione e descrizione

Esistono diverse classificazioni dei fusibili, e cioè:

- in base alla tensione (fusibili a tensione superiore a 1000 V e a tensione non superiore a 1000 V; fusibili per sistemi di I, II e III categoria);
- in base alle caratteristiche di intervento (a bassa capacità di rottura BCR, ad alta capacità di rottura ACR, ritardati, extrarapidi);
- in base alle caratteristiche costruttive (a cartuccia, a liquido, a soffiaggio).

Per i fusibili a cartuccia per tensioni fino a 1000 V, che sono i fusibili più diffusi nella pratica, esistono ulteriori classificazioni in base:

- alla categoria di utilizzazione (per uso generale, per la protezione dei circuiti di motori);
- al campo di interruzione (a pieno campo, a campo ridotto).

La categoria di utilizzazione individua il campo specifico di impiego del fusibile, mentre il campo di interruzione individua l'intervallo di correnti presunte che il fusibile è in grado di interrompere; in particolare:

- i fusibili a pieno campo sono in grado di interrompere, in condizioni specificate dalle norme, tutte le correnti che provocano la fusione dell'elemento fusibile fino al loro potere di interruzione, che è definito in modo analogo a quanto fatto per gli interruttori;
- i fusibili a campo ridotto sono in grado di interrompere, in condizioni specificate dalle norme, tutte le correnti comprese tra la corrente  $K_2 I_n$  (con  $K_2 > 1$  e di valore specificato dal costruttore ed  $I_n$  corrente nominale) e la corrente corrispondente al potere di interruzione; essi sono, in genere, usati per protezione contro i soli cortocircuiti.

Sia la categoria di utilizzazione che il campo di interruzione viene normalmente individuato da una lettera dell'alfabeto, e precisamente:

G	per i fusibili per uso generale
M	per i fusibili per la protezione dei circuiti dei motori
g	per i fusibili a pieno campo
a	per i fusibili a campo ridotto.

A titolo di esempio, si riportano di seguito alcune combinazioni di uso frequente con il loro significato:

gG	cartuccia con potere di interruzione a pieno campo per uso generale,
aM	cartuccia con potere di interruzione a campo ridotto per la protezione dei circuiti dei motori.

Nel seguito, nel descrivere i vari tipi di fusibile, si farà riferimento alla classificazione in base alle caratteristiche costruttive.

#### a) Fusibili a cartuccia

I fusibili a cartuccia trovano applicazione sia nei sistemi a tensione non superiore a 1000 V che in quelli a tensione superiore a 1000 V.

Nelle applicazioni domestiche e similari si adoperano fusibili a cartuccia a cilindro (fig.III.44), costituiti da un involucro ceramico cilindrico chiuso da due calotte metalliche fra cui è fissato un filo o nastro forato che costituisce l'elemento fusibile. Detto involucro è riempito di sabbia anidra; il tutto (elemento fusibile, sabbia e, etc.) prende il nome di cartuccia, da cui la denominazione di questo tipo di fusibile. La cartuccia viene inserita nella base a mezzo di un apposito porta cartuccia. Questi fusibili hanno, in genere, tensioni nominali fino a 380 V e correnti fino a 100 A.

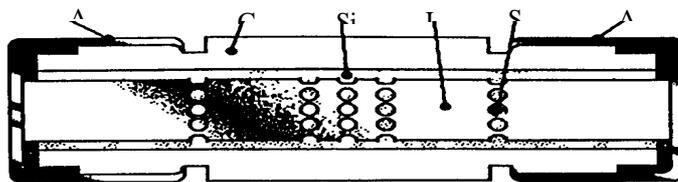


Fig. III.44 - Fusibile a cartuccia a cilindro per applicazioni domestiche e similari

Nel settore terziario (uffici, commercio, etc) vengono spesso adoperati fusibili detti in gergo di tipo D, con tensione nominale 500 V e correnti fino a 200 A (fig.III.45).

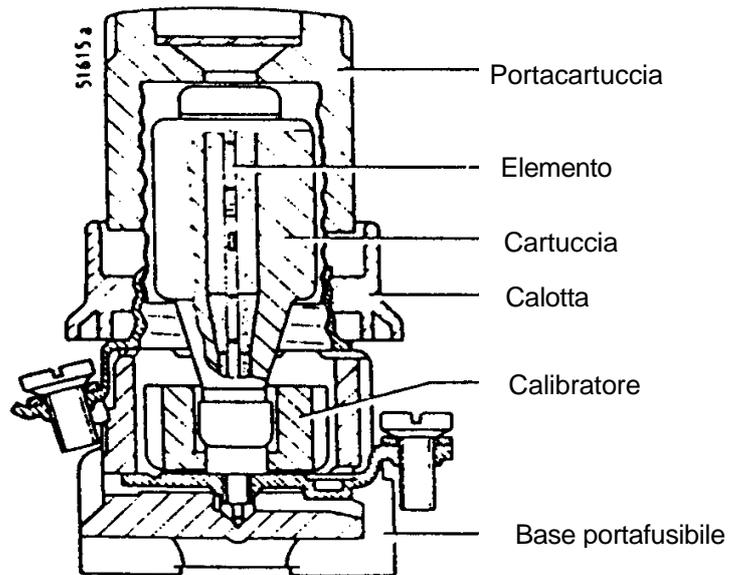


Fig. III.45 - Fusibili a cartuccia di tipo D per applicazioni nel settore del terziario

I fusibili di tipo D comprendono:

- una base con morsetti di collegamento per l'impianto;
- una cartuccia di materiale ceramico con dentro il fusibile annegato in polvere inerte, e saldato a due cappe di rame stagnato che formano i contatti;
- un coperchio o tappo avvitabile alla base dopo l'introduzione della cartuccia.

Il suddetto tappo ha un vetrino in corrispondenza della parte superiore della cartuccia che dà la possibilità di riscontrare la fusione.

Negli impianti di distribuzione cittadina e negli impianti industriali si adoperano fusibili detti in gergo di tipo NH (fig.III.46), che sono in grado di interrompere elevati valori della corrente di cortocircuito.

In questi fusibili la cartuccia è costituita da un corpo in materiale ceramico chiuso alle estremità da due piastre conduttrici portanti contatti a coltello opportunamente sagomati, e contenente internamente gli elementi fusibili ed un filo per la segnalazione di avvenuta fusione. Tra elemento fusibile e materiale ceramico vi è polvere inerte. Le due linguette L servono per estrarre il fusibile mediante appositi attrezzi isolanti. Questi fusibili hanno potere di interruzione oltre i 100 kA.

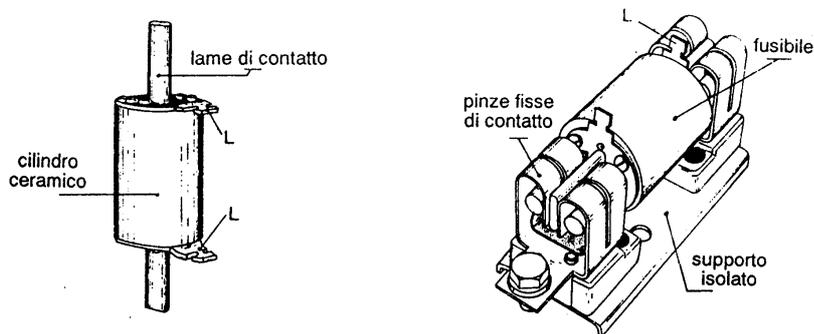


Fig. III.46 - Fusibili a cartuccia di tipo NH per applicazioni industriali

Nella fig.III.47, infine, è riportato un fusibile a cartuccia per sistemi di seconda categoria. Questi fusibili sono costituiti, per la parte che riguarda la cartuccia, da un tubo isolante (ceramica, porcellana, etc) che è chiuso alle due estremità da due cappe metalliche (porta cartucce) che servono quali contatti da inserire sui contatti della base del fusibile.

Ogni valvola contiene nell'interno del tubo l'elemento fusibile d'argento puro, totalmente annegato nella sabbia quarzifera che, come già detto, ha una funzione spegni-arco. La conformazione del fusibile determina la corrente nominale e le sue proprietà di interruzione.

Non esistono fusibili a cartuccia per sistemi di terza categoria.

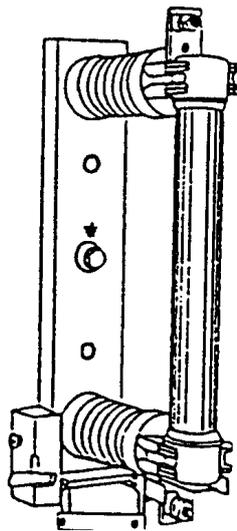


Fig. III.47 - Fusibile a cartuccia per sistemi di II categoria

#### b) Fusibili a liquido

Nei fusibili a liquido il contenitore dell'elemento fusibile è costituito da un tubo di vetro ad elevata resistenza riempito di tetracloruro di carbonio liquido, chiuso alle sue estremità dalle solite due cappe metalliche che costituiscono i contatti da inserire sulle pinze degli isolatori porta cartuccia. La peculiarità di questo tipo di fusibile è, quindi, la presenza di un liquido dotato di una notevole attitudine allo spegnimento dell'arco.

Sul fondo della cappa inferiore è agganciata una robusta molla di acciaio connessa superiormente ad un morsetto di rame, collegato elettricamente alla cappa inferiore per mezzo di una cordicella di rame di lunghezza tale da poter seguire le escursioni della molla. Il morsetto serve ad inserire la cartuccia che stirando la molla suddetta può essere agganciato alla cappa superiore. La tensione della molla, per ovvi motivi, non è sopportata dal filo fusibile, ma da uno speciale collegamento che funge da tenditore e che si brucia all'atto dell'intervento del fusibile. In tale circostanza la molla, raggruppandosi rapidamente, allontana gli elettrodi tra cui è scoccato l'arco e trascina un cappuccio forato ad essa solidale, che, nella sua veloce discesa, provoca un getto di liquido isolante che porta a rapida estinzione l'arco.

La particolarità di questo tipo di fusibile è la facilità della sostituzione della cartuccia e la possibilità di vedere l'avvenuto funzionamento. Questo tipo di fusibile ha trovato alcuni campi di impiego nei sistemi di seconda categoria, ma anche per tensioni superiori a 30 kV.

#### c) Fusibili a soffiaggio

Il fusibile a soffiaggio è costituito da un tubo isolante con due calotte metalliche alle estremità che internamente contiene un elemento limitatore e l'elemento fusibile.

Il limitatore è costituito da una serie di fili d'argento disposti in fessure longitudinali ricavate su un cilindro di fibra.

L'elemento fusibile è collegato inferiormente ad una molla tesa e si trova all'interno di un foro praticato in un blocco di acido borico.

Al verificarsi del cortocircuito l'elemento fusibile brucia e l'arco che si forma, venendo a contatto con l'acido borico, provoca la formazione di gas che espulsi violentemente determinano la rapida estinzione dell'arco. A questa azione collabora evidentemente la molla che raggruppandosi provoca il veloce allontanamento degli elettrodi.

Nel caso di correnti di cortocircuito molto elevate, interviene anche l'elemento limitatore che, bruciandosi con conseguente formazione d'arco, inserisce una forte resistenza in serie al circuito.

## 5. Confronto tra fusibili ed interruttori

Un confronto tra fusibili ed interruttori permette di fare interessanti considerazioni che delimitano i rispettivi campi di impiego.

I vantaggi fondamentali dei fusibili sono:

- il basso costo e il limitato spazio che essi occupano;
- il potere di interruzione che può ritenersi praticamente illimitato per le esigenze di protezione degli impianti di prima categoria;
- la sicurezza di intervento in caso di cortocircuito, in quanto l'interruttore automatico può non garantire l'intervento se non è curata nel tempo la manutenzione.

A questi vantaggi si contrappongono una serie di svantaggi.

In primo luogo vi è da notare che, per l'esercizio dell'impianto, è necessario sempre avere a disposizione fusibili di ricambio. Infatti, una volta avvenuta la fusione, per ripristinare il servizio, è necessario effettuare la sostituzione dell'elemento fuso. L'interruttore, invece, richiede semplicemente di essere richiuso.

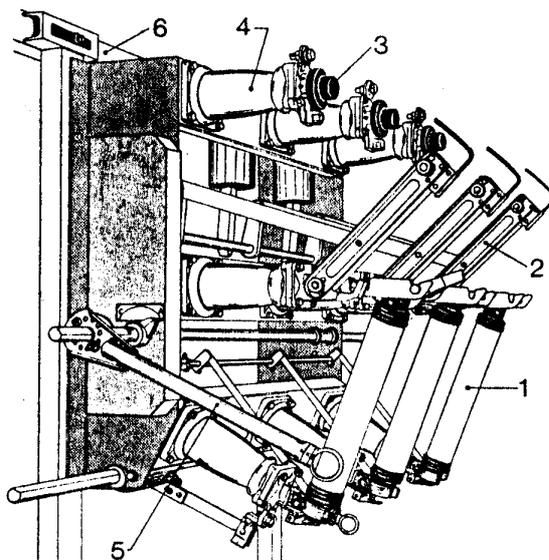
Vi è, poi, da osservare che nei circuiti trifasi può fondere il fusibile in una sola fase a seguito di un guasto monofase; il circuito resta allora alimentato sulle altre due fasi: tale situazione è indesiderata nel caso di linee che alimentano motori, perché si sovraccaricano fortemente gli avvolgimenti.

Nei circuiti monofase va, inoltre, posta particolare attenzione nel montaggio dei fusibili, che vanno posti solo sulla fase e non sul neutro.

Il fusibile, infine, apre solo sovracorrenti, per cui debbono essere abbinati con altri apparecchi separati, capaci di eseguire le altre manovre. Per superare tale problema i fusibili vengono associati ad altri apparecchi di manovra in grado di svolgere le funzioni complementari (tab.III.3). Particolarmente frequente è l'associazione interruttore di manovra-sezionatore con fusibile (fig.III.48). Infatti gli interruttori di manovra-sezionatori accoppiati a fusibili possono ricoprire la funzione di veri e propri interruttori con notevole vantaggio economico rispetto a questi ultimi sia per il costo di installazione sia per il fatto che il complesso interruttore di manovra-sezionatore con fusibili ha una capacità di interruzione così elevata da risultare adeguato nel tempo anche ai sensibili aumenti di potenza di corto-circuito che si possono verificare nel luogo di installazione. I fusibili hanno anche la possibilità, a mezzo di un opportuno dispositivo contenuto in ognuno di essi, di azionare il dispositivo di scatto dell'interruttore di manovra provocando, anche per fusione di una sola valvola, l'apertura del sezionatore su tutte e tre le fasi.

Tab. III.3 – Alcune combinazioni di apparecchi di manovra.

Funzioni		
Stabilimento e interruzione della corrente	Sezionamento	Stabilimento, interruzione e sezionamento
interruttore di manovra con fusibile	sezionatore con fusibile	interruttore di manovra - sezionatore con fusibile
		
interruttore di manovra - fusibile	sezionatore - fusibile	interruttore di manovra - sezionatore - fusibile
		



1. Fusibili
2. Lame (contatti mobili)
3. Contatti fissi
4. Isolatori
5. Cinematismo per il comando delle lame
6. Intelaiature di sostegno (messa a terra)

Fig. III.48 - Interruttore di manovra-sezionatore ( ex sezionatore sottocarico) con fusibili

## **6. Quadro di sintesi sulle applicazioni dei vari apparecchi di manovra**

*Per i sistemi di I categoria :*

- interruttori in aria;
- sezionatori a coltelli;
- interruttori di manovra-sezionatori;
- contattori;
- fusibili.

*Per i sistemi di II categoria:*

- interruttori in aria a soffio magnetico, a volume d'olio ridotto, in aria compressa, in esafluoruro di zolfo, sotto vuoto;
- sezionatori a coltelli, a rotazione;
- interruttori di manovra-sezionatori;
- fusibili.

*Per i sistemi di III categoria:*

- interruttori a volume d'olio ridotto, in aria compressa, in esafluoruro di zolfo;
- sezionatori a coltelli, a rotazione, a pantografo, a ginocchio.